



CESOL

TEMA 1.8.1 SOLDEO MIG/MAG

IWE-MÓDULO 1

En la elaboración de este texto han colaborado:

D. Manuel Aracil Cadenas

Este texto es propiedad íntegra de la Asociación Española de Soldadura y Tecnologías de Unión, en adelante CESOL.
Queda terminantemente prohibida cualquier reproducción del mismo sin autorización expresa por parte de CESOL.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Ventajas del proceso	2
1.2. Limitaciones del proceso	3
2. TIPOS DE TRANSFERENCIA.....	3
2.1. Transferencia por Arco Corto o Cortocircuito	4
2.2. Transferencia por Arco Globular	7
2.3. Transferencia por Arco Largo o Spray	8
2.3.1. Intensidad de Transición	10
2.4. Transferencia por Arco Pulsado	11
2.5. Transferencia con Elevada Densidad de Corriente	12
3. INSTALACIÓN MIG (GMAW)	14
3.1. Soplete.....	14
3.1.1. Sopletes para soldadura manual	15
3.1.2. Sopletes para soldadura automática.....	18
3.2. Alimentador de alambre	19
3.3. Control.....	22
3.4. Fuentes de alimentación	22
3.4.1. Controles de Fuentes de Potencial Constante	23
3.4.2. La longitud de alambre.....	23
3.4.3. Características de una fuente de alimentación de voltaje constante	24
3.4.3.1. Pendiente	24
3.4.3.2. Inductancia	27

3.4.3.3. Cambio de la distancia entre la pistola y el metal base.....	27
3.4.3.4. Cambio de la velocidad de avance del alambre.....	28
3.5. Suministro de gas con regulación	29
3.6. Suministro de agua	30
4. VARIABLES DEL PROCESO. SELECCIÓN	30
4.1. Intensidad	31
4.2. Polaridad	31
4.3. Voltaje de arco (longitud de arco)	32
4.4. Velocidad de soldadura.....	33
4.5. Longitud de alambre o Extensión del electrodo.....	33
4.6. Diámetro de electrodo.....	34
4.7. Orientación del alambre.	34
4.8. Posición de Soldadura.....	35
5. GASES DE PROTECCION.....	36
5.1. Factores que afectan la elección del gas de protección adecuado.	36
5.2. Argón, Helio y sus mezclas.....	37
5.3. Adiciones de Oxígeno y Dióxido de Carbono al Helio y Argón. Transferencia con arco-largo	39
5.4. Adiciones de Oxígeno y Dióxido de Carbono al Helio y Argón. Transferencia con arco corto.....	42
5.5. Dióxido de carbono	43
5.6. Mezclas de argón/CO ₂ /H ₂ y argón/Helio/CO ₂ /Hidrógeno	44
5.7. Mezclas de argón/CO ₂ /N ₂	44
6. CONSUMIBLES.....	48
6.1. Soldadura con alambres tubular sin flux interior (“Metal Cored”).....	49

6.2. Designación de acuerdo con AWS Y UNE-EN.	51
6.2.1. AWS A 5.18–Alambres macizos de acero al carbono.	51
6.2.2. AWS A5.18–Alambres tubulares “Metal Cored” de acero al carbono.	51
6.2.3. AWS A5.9–Alambres macizos de acero inoxidable.	52
6.2.4. AWS A5.10–Alambres de aluminio.....	52
6.2.5. UNE–EN ISO 14341–Alambres de aceros no aleados y aceros de grano fino.....	53
7. DISEÑO DE LA UNIÓN	53
8. APLICACIONES	53
8.1. Ventajas e inconvenientes.....	53
8.2. Metales que pueden ser soldados	54
8.3. Espesores a soldar	55
8.4. Posición de soldadura.....	55
9. DEFECTOS	56
9.1. Introducción	56
9.2. Consecuencias de las imperfecciones de las soldaduras	66
10. TÉCNICAS ESPECIALES.....	66
11. RECOMENDACIONES SOBRE UTILIZACION DE GASES	68
12. EQUIPO DE PROTECCIÓN.....	72
13. CÁLCULO DE COSTOS.....	72

1. INTRODUCCIÓN

La soldadura GMAW (Gas Metal Arc Welding), también conocida como MIG/MAG (Metal Inert Gas / Metal Active Gas), es un proceso de soldadura (*figura 1*) donde el calor necesario para la unión es producido por un arco eléctrico entre un electrodo continuo consumible y la pieza a soldar. La protección del arco eléctrico y del baño de fusión se obtiene mediante un gas o mezcla de gases.

El electrodo es un alambre sólido desnudo que se alimenta de forma continua automáticamente, y se convierte en el metal depositado según se consume. El electrodo, arco, metal fundido y zonas adyacentes del metal base quedan protegidas de la contaminación de los gases atmosféricos mediante un flujo de gas que se aporta por la boquilla de la pistola, concéntricamente al electrodo (*figura 1*).

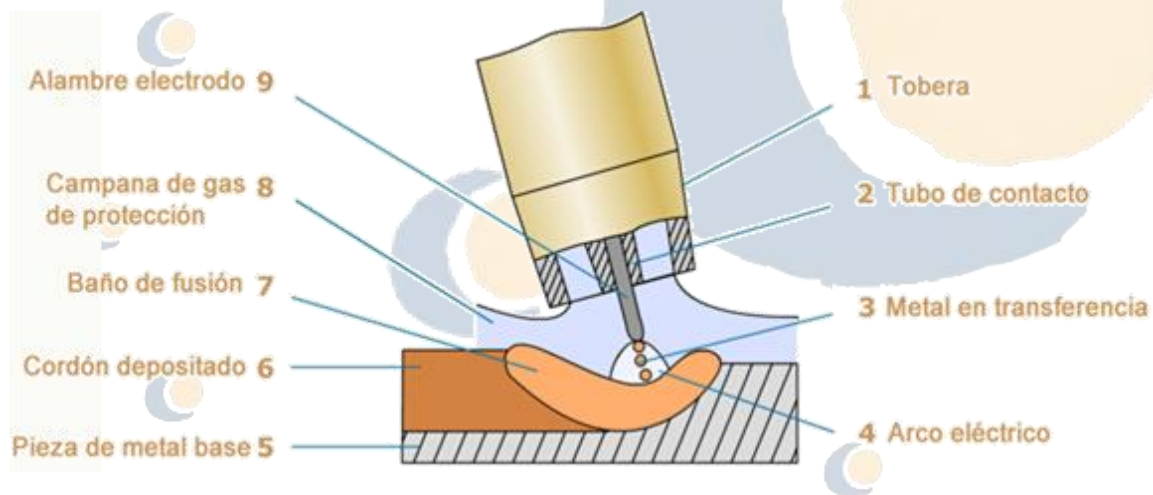


Figura 1. Proceso MIG (GMAW)

El inicio del proceso MIG (Gas Metal Arc Welding) es 1920 pero no fue desarrollado comercialmente hasta 1948. Cuando se desarrolló esta técnica, se consideró que era un proceso fundamentalmente de alta densidad de corriente, pequeño diámetro del metal de aporte y utilización de gas inerte como protección. Fue introducido para la soldadura del aluminio y se utilizó inicialmente con Argón, gas inerte, de aquí la denominación MIG (Metal Inert Gas). Desde entonces, se han realizado diversos desarrollos asociados con la aplicación del proceso. Por una parte, el gas Argón pareció caro para la soldadura de aceros, por lo que se utilizó CO_2 como gas protector, denominándose entonces el proceso MAG (Metal Active Gas). Posteriormente fueron introduciéndose otros gases como Helio y mezclas Ar-CO_2 , Ar-O_2 , $\text{Ar-CO}_2\text{-O}_2$, Ar-He , etc. Por otra parte, se desarrollaron las características de los arcos para los diversos gases y sus combinaciones, lo cual llevó a operar con menores densidades de corriente, transferencia del metal con arco corto, utilización de corriente pulsada, etc.

Este proceso puede trabajar en modo semiautomático y automático, siendo fácilmente adaptado para su utilización con robot. Eligiendo el consumible y gas de protección adecuados, pueden soldarse con este proceso todos los metales y aleaciones utilizados comercialmente.

El desarrollo de los alambres tubulares, “Metal Cored” y “Flux Cored” ha permitido aportar ventajas frente a la utilización de este proceso con alambre macizo. La soldadura con el alambre “Metal Cored”, se considera una variación del proceso MIG/MAG, para su utilización necesita gas de protección, permite una mayor velocidad de deposición con una elevada eficiencia, no deja apenas escoria y el nivel de humos es similar al de los alambres macizos. La soldadura con alambre “Flux Cored” se considera un proceso diferente del MIG/MAG (GMAW) que se denomina FCAW (Flux Cored Arc Welding) y que tiene como principales características, el contener en el interior del alambre un fundente (flux) con funciones similares al revestimiento del electrodo revestido, formar escoria, poder necesitar gas de protección adicional o ser autoprotegidos, permitir una mayor velocidad de deposición que con alambres “Metal Cored” pero con una eficiencia inferior y con una mayor cantidad de humos.

Es conveniente tener en cuenta que aunque se mencione MIG, cuando se utiliza un gas de protección activo, debe entenderse como MAG y que en este proceso, al electrodo a veces se le denomina, alambre o hilo y al soplete, pistola.

Al soldeo MIG/MAG también se le denomina:

- GMAW (Gas Metal Arc Welding)
- UNE-EN ISO 4063: 2011
- Proceso 131: Soldeo por arco con alambre electrodo macizo y gas inerte: Soldeo MIG
- Proceso 133: Soldeo por arco con alambre tubular relleno de polvo metálico y gas inerte: Soldeo MIG
- Proceso 135: Soldeo por arco con alambre electrodo macizo y gas activo: Soldeo MAG
- Proceso 138: Soldeo con alambre tubular relleno de polvo metálico y gas activo: Soldeo MAG

Este proceso se utiliza para soldar los principales metales como el acero al carbono, aluminio, cobre y acero inoxidable.

1.1. Ventajas del proceso

Las aplicaciones de este proceso están basadas en las siguientes ventajas:

- Es el único proceso con arco eléctrico y electrodo consumible que puede soldar todos los metales y aleaciones que se utilizan comercialmente.
- La soldadura se puede hacer en todas las posiciones, una característica que no tiene la soldadura con arco sumergido.

- Las velocidades de deposición son mucho más elevadas que las obtenidas con el proceso con electrodo revestido.
- En comparación con el proceso de electrodo revestido, por utilizar una alimentación continua del electrodo, se logran unas velocidades de soldadura y de deposición más elevadas, con incrementos de la productividad. Puede adaptarse fácilmente en la soldadura con automatismos y robot
- Pueden realizarse soldaduras de una gran longitud sin paradas.
- La limpieza que es necesario realizar después de la soldadura es mínima debido a no producir una escoria.

1.2. Limitaciones del proceso

Las limitaciones que restringen su utilización son:

- El equipo es más complejo que el del proceso de electrodo revestido.
- Tiene más dificultad que el proceso de electrodo revestido para acceder a uniones de difícil acceso ya que es necesario aproximar la pistola a la unión entre 10 y 20 mm. para asegurarse que la soldadura está protegida por el gas.
- La soldadura debe protegerse del viento y de las corrientes de aire que pueden arrastrar el gas de protección. Esto limita la utilización del proceso a emplearse dentro de taller a no ser que se proteja adecuadamente la zona de soldadura.

2. TIPOS DE TRANSFERENCIA

La transferencia del metal desde el electrodo hasta la pieza puede realizarse básicamente de dos formas. En primer lugar, pueden desprenderse gotas del electrodo y moverse a través del arco hasta llegar a la pieza. En segundo, las gotas de metal también pueden transferirse del electrodo a la pieza cuando el electrodo contacta con el metal fundido depositado por soldadura.

Los tipos de transferencia son:

- Arco corto o cortocircuito
- Globular
- Arco largo o arco spray
- Arco pulsado
- Arco Largo de Elevada Densidad de Corriente (Arco rotacional y No rotacional).

El tipo de transferencia, con desprendimiento de gotas o por contacto y su tamaño, están determinadas por un cierto número de factores. Los que tienen un mayor grado de influencia son los siguientes:

- Tipo y magnitud de la Intensidad de soldadura.
- Diámetro y composición del electrodo.
- La longitud (extensión) del electrodo entre la punta de contacto y el arco.
- Longitud de arco o voltaje.
- La composición del gas de protección.

La transferencia por “vuelo” de gotas desde el electrodo a la pieza puede ser por arco globular, arco largo, arco pulsado y arco largo de elevada intensidad.

2.1. Transferencia por Arco Corto o Cortocircuito

Es una variación del proceso en la que el electrodo se deposita durante los sucesivos cortocircuitos. La transferencia de metal tiene lugar cuando el electrodo entra en contacto con el metal base. En este tipo de transferencia la relación entre la velocidad de fusión del electrodo y su velocidad de alimentación dentro de la zona de soldadura hace que se alterne de modo intermitente el arco eléctrico y el cortocircuito entre el electrodo y el metal base (*figura 2*).

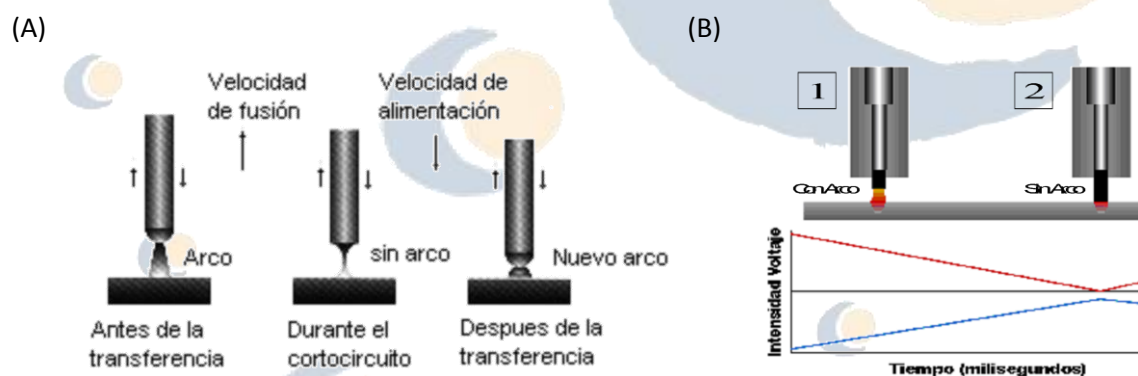


Figura 2. (A, B) Transferencia por arco corto

El electrodo que es alimentado a una velocidad constante, que supera a la velocidad de fusión. Cuando el alambre toca el metal base, se produce el cortocircuito y durante este tiempo no hay arco (*figura 2B2*). La intensidad comienza a fluir a través del alambre y a elevarse, produciéndose el calentamiento del alambre hasta un estado plástico. En este momento, el alambre comienza a estrangularse debido a la fuerza “pinch” originado por la fuerza electromagnética. Dependiendo del nivel de intensidad y la fuerza “pinch” se forma la gota que se transfiere al baño de fusión, estableciéndose de nuevo el arco (*figura 2B1*).

La transferencia por arco corto se obtiene con bajos niveles de intensidad. En la *tabla 1* se muestran los rangos de Intensidad típicos; como vemos el rango se extiende claramente por debajo de la Intensidad de transición globular-arco largo mostrada en la *tabla 2*. La transferencia de metal del electrodo a la pieza se produce únicamente durante el periodo en que están en contacto, esto sucede entre 60 a 150 veces por segundo.

La secuencia más detallada de la transferencia de metal y los correspondientes cambios en intensidad y voltaje se muestran en la *figura 3*. Cuando el electrodo toca la pieza (A), la intensidad comienza a aumentar. Este aumento continuaría si no se formara un arco, como se muestra en el punto (E). La velocidad de aumento de la intensidad debe ser lo bastante alta como para mantener fundida la punta del electrodo hasta que se transfiere el metal. La velocidad de aumento se controla ajustando la inductancia (puede verse más adelante) de la fuente de alimentación. Su efecto es retardar o acelerar la subida de la intensidad al intercalar más o menos inductancia en el circuito de soldadura. Variando por tanto los tiempos de cortocircuito y de arco, se puede regular el calor aportado a la pieza y el tamaño del baño fundido. El valor de la inductancia requerida depende tanto de la resistencia eléctrica como de la temperatura de fusión del electrodo.

Tabla 1. Márgenes de intensidad típicos en soldadura MAG con transferencia por arco corto de aceros al carbono

Diámetro de Electrodo		Intensidad (A)			
Pulgadas	mm	Posición Plana		Posición Vertical y Techo	
		Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
0.030	0.8	50	150	50	125
0.035	0.9	75	175	75	150
0.045	1.2	100	225	100	175

A continuación el extremo del alambre se funde, formando un pequeño glóbulo de metal líquido que se mueve hacia la pieza, tomando la forma mostrada en (H). Cuando el metal entra en contacto con la pieza se forma un cortocircuito. En este momento, la transferencia se realiza por gravedad y tensión superficial, y el arco está extinguido (A,B y C). Finalmente, el puente de metal fundido se rompe por el efecto de la “fuerza “pinch” originado por la fuerza electromagnética. La fuerza “pinch” está controlada por la fuente de alimentación. En ese momento se rompe el contacto eléctrico y se restablece el arco (E), con lo que se cierra el ciclo.

Este modo de transferencia se emplea en un gran número de aplicaciones, y está especialmente indicado para:

- La soldadura de espesores delgados dado que su aporte térmico es bajo, y para “puentear” preparaciones con huelgos excesivos
- Soldadura en todas las posiciones

La soldadura de espesores gruesos, se emplea con menos frecuencia, con este tipo de transferencia, y hay que tener precaución para seleccionar los parámetros y la técnica apropiada para asegurar la fusión requerida.

Resumen de características:

- Bajos voltajes e intensidades.
- Diámetros de alambre pequeños.
- Input térmico pequeño.
- Pequeño baño de fusión.
- Soldadura de espesores delgados y con preparaciones con separaciones amplias.
- Soldadura en todas las posiciones.
- Soldadura de preparaciones con separaciones amplias.
- Pequeños valores de deposición de alambre.
- ocas deformaciones.

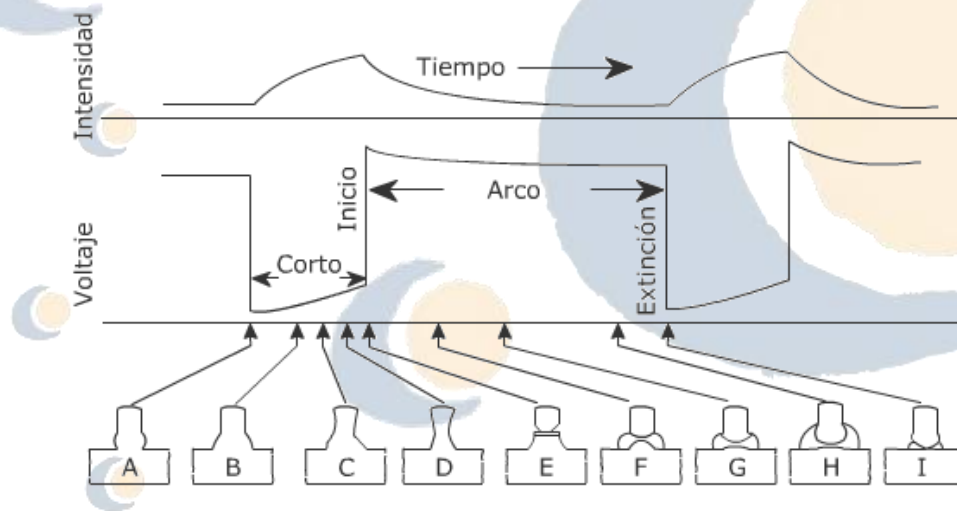


Figura 3. Esquema de la transferencia por arco corto

Para ajustar un arco corto, debe procederse al ajuste de la velocidad de alimentación de alambre, de acuerdo con la penetración necesaria, el ajuste fino del voltaje debe hacerse de modo que el sonido sea suave y regular y la longitud de alambre debe controlarse con cuidado ya que afecta considerablemente a la intensidad. Con un alambre de 0,9 mm, 80-90 A y 15-16 V, la longitud de alambre debe ser alrededor de 10 mm. Con un alambre de 1,2 mm, 225-235 A y 20-22 V, la “longitud de alambre” debe ser alrededor de 15–18 mm. Si el arco es inestable, el motivo fundamental es que la longitud de alambre es demasiado larga o el voltaje es demasiado elevado. Las proyecciones se pueden mantener bajas, seleccionando un gas apropiado.

Si el equipo lo permite, en la transferencia por arco corto, hay dos variables, la pendiente y la inductancia, (que pueden verse más adelante) que pueden ayudar. La pendiente, que es ajustable en algunos equipos bien sea externamente o con conexiones internas. La *figura 18A* muestra que la curva con más pendiente, limitará la máxima intensidad que el equipo puede suministrar. Esto es una ayuda cuando se suelda con arco corto a bajas intensidades y sobre espesores delgados. Si la mayoría de los trabajos se realizan con arco corto, entonces sería aconsejable, si el equipo dispone de ello, cambiar la conexión interna a la pendiente apropiada.

Un equipo con control de inductancia es más fácil para usar con arco corto. Como se muestra en la *figura 22*, añadiendo inductancia baja la velocidad a la que se eleva la intensidad. Con este control de la inductancia, después de que la velocidad de alimentación de alambre y el voltaje estén ajustados, la inductancia debe incrementarse hasta el punto donde el metal comienza a transferirse suavemente. Incrementando la inductancia, la intensidad se eleva a una velocidad inferior y está a un nivel más bajo, cuando el ciclo comienza otra vez, que si no hubiera inductancia en el circuito. Limitando la intensidad de corto, se reduce una transferencia de metal dura y explosiva. La mayoría de la soldadura con arco corto, se realiza con alambre de 0,8; 1,0: o 1,2 mm de diámetro. Diámetros más elevados, necesitan una intensidad demasiado elevada para la mayoría de las aplicaciones.

Los gases y mezclas con los que se puede soldar con arco corto van desde el Ar-8%CO₂ pasando por el Ar-25% CO₂ hasta el CO₂ y las mezclas Ar-CO₂-O₂. Para bajas intensidades el CO₂ es algunas veces una buena opción, el arco es más caliente que con una mezcla de argón y a bajos niveles de intensidad, no hay muchas proyecciones. Para incrementar las velocidades de deposición y las velocidades de soldadura, las mezclas Ar-25% CO₂, Ar-15% CO₂ o un Ar-8% CO₂ usualmente darán mejores resultados y con menos proyecciones. Reduciendo la cantidad de CO₂ el baño se hace menos fluido y más fácil de controlar. La posibilidad de traspasar también se reduce. Sobre espesores delgados, los gases con más bajos contenidos de CO₂ trabajan mejor, disminuyendo la posibilidad de traspasar y permitiendo intensidades y velocidades de soldadura más elevadas. Para la soldadura de metales aleados como el acero inoxidable, se añade a veces helio para incrementar el input térmico a bajas velocidades de deposición.

2.2. Transferencia por Arco Globular

La transferencia globular se caracteriza por la formación de una gota relativamente grande de metal fundido en el extremo del electrodo (*figura 4A y figura 4B*). Esta gota se va formando y sosteniendo por la tensión superficial. El arco esta saltando continuamente entre la parte de la gota que está más próxima al metal, donde solo es necesario un voltaje mínimo para sustentar el arco (*figura 4C*). Cuando la fuerza de gravedad supera a la fuerza de tensión superficial, la gota cae, golpea en el metal base, salpicando y produciéndose las salpicaduras que salen del baño y caen al metal base. A diferencia de la transferencia con arco corto, hay arco eléctrico la mayor parte del tiempo.

Este modo de transferencia tiene lugar cuando el ajuste de voltaje y de intensidad excede a los del arco corto. Además de arco corto este es el único tipo de transferencia que puede obtenerse cuando se emplea el CO₂ como gas de protección. Con el CO₂ la transferencia de las gotas no se dirigen axialmente a través del arco.

Cuando se está empleando una mezcla de argón como Ar-CO₂-O₂, Ar-CO₂, o Ar-O₂, la transferencia globular se obtiene cuando el voltaje o la intensidad están por debajo del rango del arco largo.

La transferencia globular se caracteriza por dar lugar a un gran tamaño de gota del orden de 2 a 4 veces más grande que el diámetro del alambre.

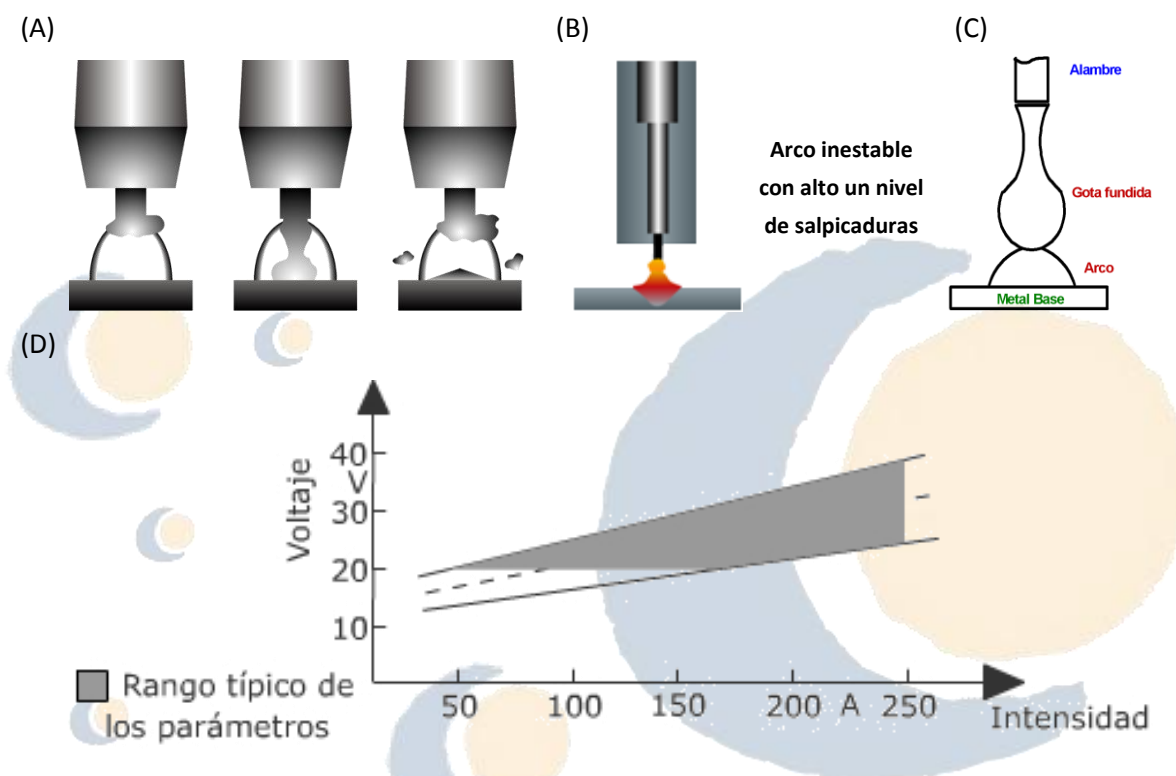


Figura 4. (A, B, C) Transferencia por arco globular y (D) rango típicos de los parámetros para este tipo de transferencia

La transferencia globular no es usualmente empleada debido a la baja eficiencia del proceso. Es el tipo de transferencia que produce más salpicaduras. Dependiendo del rango de intensidad, gas de protección y el ajuste del equipo de soldadura, la transferencia globular puede producir hasta un 10-15 % del metal soldado de salpicaduras. Debido a la falta de eficiencia del proceso, se obtienen velocidades de soldadura o de tamaño de cordón inferiores a los obtenidos con arco corto o largo con similares velocidades de alimentación de alambre.

2.3. Transferencia por Arco Largo o Spray

En la transferencia por arco largo, el extremo del alambre se afila, las gotas son iguales o menores que el diámetro de alambre, y su transferencia se realiza desde el extremo del alambre al baño fundido en forma de una corriente axial de gotas finas, de cientos por segundo (*figura 5A* y *figura 5B*). Las gotas saltan una a continuación de otra, pero no están interconectadas.

Debido al afilado del extremo del alambre, la densidad de corriente (A/mm^2) y la fuerza Pinch son muy elevados. Esto hace que las gotas sean más pequeñas que el diámetro de alambre. Las gotas son aceleradas por el campo magnético en vez de transferirse por gravedad como en el arco globular y son absorbidas dentro del baño de fusión en vez de salpicar.

La transferencia por arco largo, donde realmente tiene ventajas es en espesores gruesos y posición horizontal y en cornisa. Todos los aceros (al carbono e inoxidables) y la mayoría de los otros metales, pueden soldarse con arco largo.

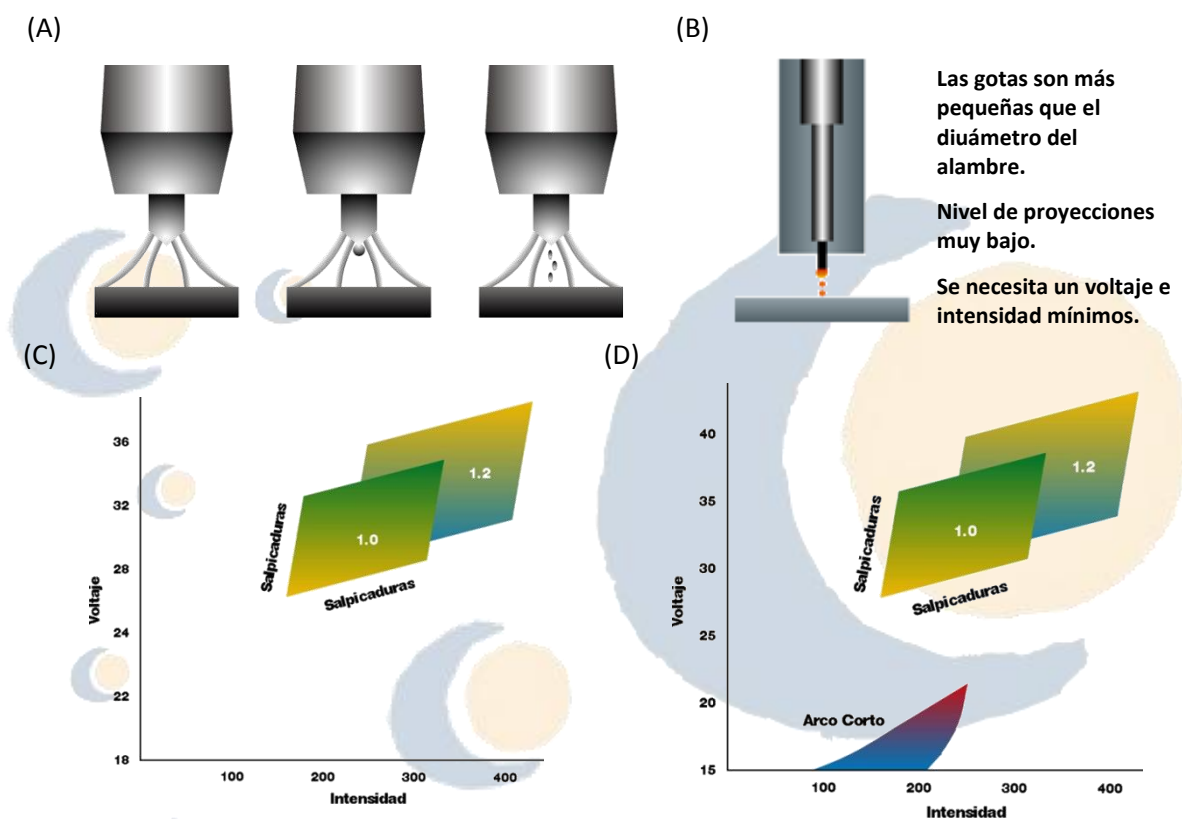


Figura 5. (A, B) Transferencia por arco largo. (C, D) Rango típicos de los parámetros para este tipo de transferencia con alambres de 1,0 y 1,2 mm de diámetro y mezcla (C) Ar-5% O₂ y (D) Ar-8% O₂

Resumen de **características**:

- Input térmico elevado.
- Grandes baños de fusión.
- Soldadura de espesores gruesos.
- Soldadura en horizontal.
- Mayor distorsión.
- Menos salpicaduras.
- Elevados valores de deposición de alambre.

Los gases empleados para arco largo tienen un contenido inferior de gases activos (CO₂ y O₂) que los empleados para arco corto. La mayoría contienen 85-90 % de argón, siendo normalmente el resto de los componentes, CO₂ y O₂, y en algunas ocasiones, pueden contener pequeñas cantidades de helio, para incrementar la energía del arco, y de hidrógeno (aceros inoxidables austeníticos).

La transferencia por arco largo es un proceso limpio y de elevada eficiencia. Se pueden emplear todos los diámetros de alambre. Para la mayoría de las aplicaciones en el rango de intensidades de 175 a 500 A, son adecuados los alambres desde 0,9 a 1,6 mm de diámetro. Cuando el equipo está ajustado correctamente, no hay apenas salpicaduras y el 97-98 % del alambre de soldadura es depositado en el baño de fusión.

2.3.1. Intensidad de Transición

Con una gas de protección con al menos 15-20 % de CO₂ (dependiendo del equipo) y unas adecuados parámetros de soldadura, el tipo de transferencia puede cambiarse de globular a arco largo. Esto sucede siempre que se supere unos valores de intensidad y voltaje mínimos que dependen del gas del diámetro y composición química del alambre. A esta intensidad mínima se la llama Intensidad crítica o de Transición de arco globular a arco largo (*tabla 2*). Para acero al carbono e inoxidable, el rango de voltajes oscila entre 24 V, para los diámetros pequeños con Ar-O₂ y hasta 30 V para mezclas con helio. Para comenzar el ajuste, se puede empezar con 26-27 V. En la *figura 5C* y la *figura 5D* puede observarse los rangos para soldadura con arco largo para los gases Ar-5%O₂ y Ar-8%CO₂.

Tabla 2. Intensidades de transición de arco globular a arco largo

Tipo de Alambre	Diámetro Alambre		Gas de Protección	Intensidad Mínima Para Arco Largo (A)
	Pulgadas	mm		
Acero al Carbono (ER70S-3 o ER70S-6)	0.023	0.4	98% Ar/ 2% O ₂	135
	0.030	0.8	98% Ar/ 2% O ₂	150
	0.035	0.9	98% Ar/ 2% O ₂	165
	0.045	1.2	98% Ar/ 2% O ₂	220
	0.062	1.6	98% Ar/ 2% O ₂	275
	0.035	0.9	95% Ar/ 2% O ₂	155
	0.045	1.2	95% Ar/ 2% O ₂	200
	0.062	1.6	95% Ar/ 2% O ₂	265
	0.035	0.9	92% Ar/ 2% O ₂	175
	0.045	1.2	92% Ar/ 2% O ₂	225
	0.062	1.6	92% Ar/ 2% O ₂	290
	0.035	0.9	85% Ar/ 2% O ₂	180
	0.045	1.2	85% Ar/ 2% O ₂	240
	0.062	1.6	85% Ar/ 2% O ₂	295
	0.035	0.9	80% Ar/ 2% O ₂	195
	0.045	1.2	80% Ar/ 2% O ₂	255
	0.062	1.6	80% Ar/ 2% O ₂	345

Tabla 2. Intensidades de transición de arco globular a arco largo. (Continuación)

Tipo de Alambre	Diámetro Alambre		Gas de Protección	Intensidad Mínima Para Arco Largo (A)
	Pulgadas	mm		
Acero Inoxidable Austenítico	0.035	0.9	98% Ar/ 1% O ₂	150
	0.045	1.2	98% Ar/ 1% O ₂	195
	0.062	1.6	98% Ar/ 1% O ₂	265
	0.035	0.9	Ar/He/CO ₂	160
	0.045	1.2	Ar/He/CO ₂	205
	0.047	1.6	Ar/He/CO ₂	280
	0.062	0.9	Ar/H ₂ /CO ₂	145
	0.035	1.2	Ar/H ₂ /CO ₂	185
	0.045	1.6	Ar/H ₂ /CO ₂	255
Aluminio	0.062	0.8	Ar	95
	0.035	1.2	Ar	135
	0.045	1.6	Ar	180
Cobre	0.062	0.9	Ar	180
		1.2	Ar	210
		1.6	Ar	310
Bronce al Silicio		0.9	Ar	165
		1.2	Ar	205
		1.6	Ar	270

2.4. Transferencia por Arco Pulsado

La transferencia por arco pulsado (*figura 6A*) se realiza mediante arco largo, pero que se produce en pulsos a intervalos regularmente espaciados en lugar de suceder al azar, como ocurre en la transferencia por arco largo.

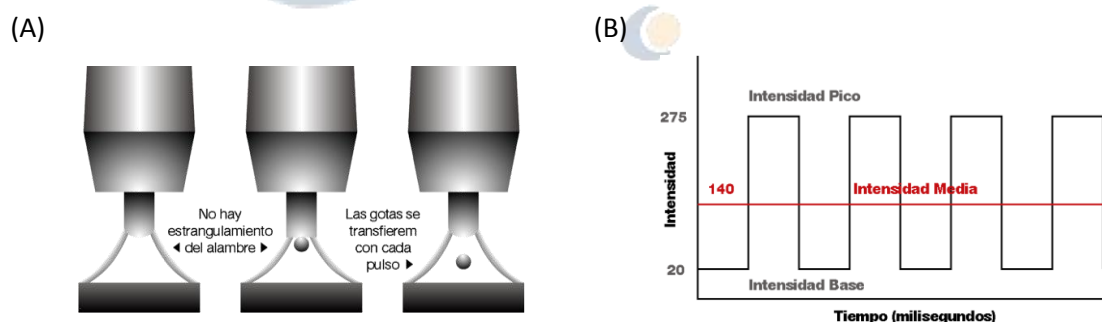


Figura 6. (A) Transferencia con arco pulsado. (B) Gráfico Intensidad–Tiempo de transferencia por arco pulsado de la onda

En la *figura 6B* puede observarse un gráfico de onda cuadrada de Intensidad–Tiempo. La intensidad superior se llama intensidad “pico” y la intensidad baja de la onda cuadrada se llama

intensidad “base” o “fondo”. Esta intensidad, normalmente 20–40 A, sirve para mantener el arco y precalentar el electrodo que va avanzando continuamente. Cuando la intensidad se eleva a la intensidad “pico”, se transfiere una gota en arco largo.

El resultado neto es producir una transferencia que combina el bajo input térmico asociado con la transferencia por Arco Corto, con la limpieza, sin salpicaduras, y buena penetración asociada a la transferencia por Arco Largo. Esto permitirá soldar secciones inferiores a 3 mm sin proyecciones, obtener menores deformaciones, y soldar en todas las posiciones.

Como se produce una intensidad “pico” elevada, se pueden utilizar grandes diámetros con bajas velocidades de deposición. El diámetro de 1,2 mm se podrá utilizar en vez de 0,8 o 1,0 mm, con lo que se pueden reducir costos y también reducir los problemas de alimentación de alambre asociados a los pequeños diámetros de alambre.

Los equipos inverter pulsados, con una mayor velocidad de subida de la intensidad, pueden reducir la cantidad de humos asociada con la soldadura MIG con elevada intensidad. Parte de los humos están originados por el sobrecalentamiento del alambre. La rápida subida de la intensidad, reduce el sobrecalentamiento y reduce la velocidad de generación de humos.

Tabla 3. Rangos de intensidad típicos en soldadura MIG con arco pulsado

Diámetro del Electrodo	Intensidad (A)			
	mm	Aluminio 4043 (1)	Acero Inoxidable AISI 308 (2)	Magnesio AZ61A (1)
0.030	0.8	48-80	55-130	-----
0.040	1.0	-----	-----	65-100
0.045	1.14	-----	90-180	-----
3/64/	1.2	75-130	-----	75-100
1/16	1.6	90-250	110-250	100-250
2/32	2.4	150-300	-----	225-375

2.5. Transferencia con Elevada Densidad de Corriente

Este tipo de transferencia exige el empleo conjunto de una determinada combinación de alimentación de alambre, una longitud de alambre (stick out) y un gas de protección.

Las velocidades de deposición que se encuentran con este tipo de transferencia son del orden de 5 a 12 Kg por hora, mientras que con arco largo está entre 3 y 5 kg por hora. Las características de la transferencia de elevada densidad de corriente, está dividida entre transferencia por arco largo rotacional y no rotacional.

Utilizando la combinación de un alambre macizo, un alimentador que permita elevada velocidad de alimentación (superior a 20 metros/minuto), una gran longitud de alambre y una mezcla de

gases adecuados, puede obtenerse una transferencia con arco largo rotacional. La elevada longitud de alambre crea una resistencia elevada que produce el calentamiento del alambre que llega a fundir su extremo final. El paso de la intensidad a través del alambre genera un campo magnético y unas fuerzas que hacen que el extremo del alambre fundido comience a rotar de forma helicoidal. (figura 7)

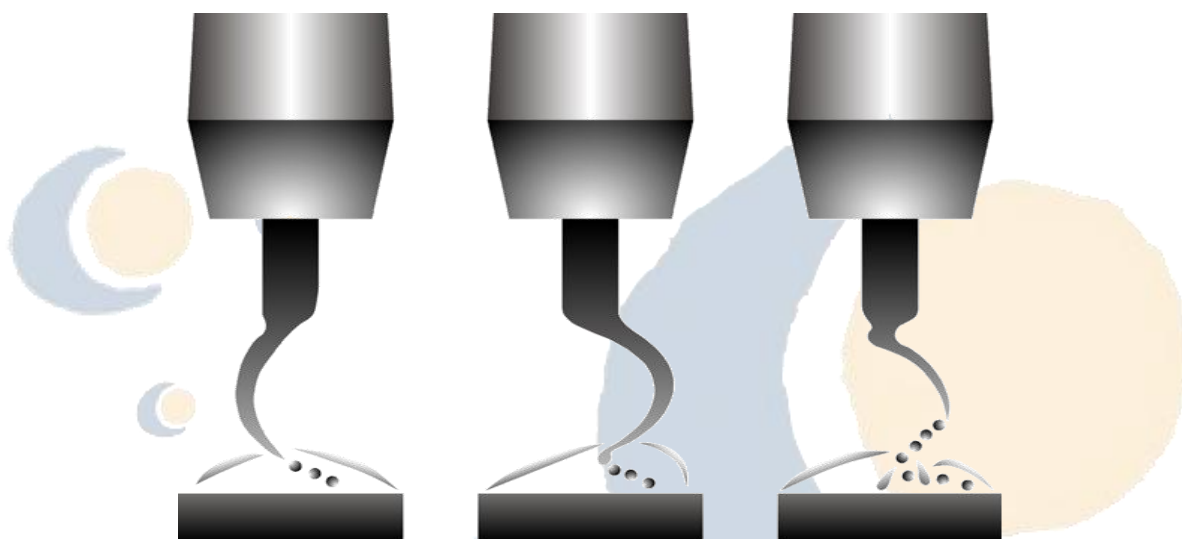


Figura 7. Transferencia con elevada densidad de corriente. Arco largo rotacional

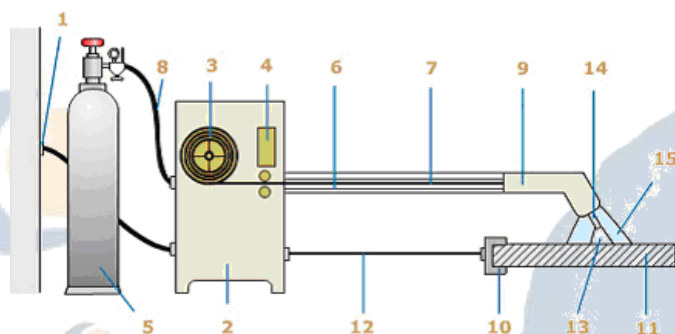
El gas de protección afecta a la intensidad de transición rotacional por cambiar la tensión superficial del extremo del alambre fundido. Para alcanzar esta transferencia hay que utilizar, una mezcla de Ar-O_2 y Ar-CO_2 , un diámetro de alambre de 1,0 a 1,2 mm de diámetro y una velocidad de alimentación de alambre superior a 20 m/min.

La transferencia no rotacional se produce cuando el extremo del alambre fundido no rota. De este modo también se consigue una velocidad de 5 a 12 kg por hora. No existe rotación cuando se incrementa la conductividad térmica del gas y la tensión superficial del extremo fundido del electrodo. La velocidad de desprendimiento de gotas a través del arco desciende pero su volumen se incrementa. Las mezclas de gases con contenidos importantes de CO_2 o helio elevarán la intensidad de transición para obtener transferencia rotacional y suprime la tendencia del arco a rotar. Entonces el arco se alarga y difunde pareciendo similar al arco largo convencional. El arco es axial y más estrecho que en la transferencia con arco largo rotacional. Debido a que tiene el calor más concentrado, tendrá para la misma intensidad, una profundidad de la penetración mayor que con transferencia por arco largo rotacional.

3. INSTALACIÓN MIG (GMAW)

El proceso MIG (GMAW), puede utilizarse de forma semiautomática y automática. Una instalación estará

(A)



- 1 Suministro de Energía.
- 2 Fuente de Potencia.
- 3 Carrete de Alambre/ Electrodo.
- 4 Sistema de Alimentación de Alambre.
- 5 Suministro de Gas de Protección.
- 6 Cable de Pistola.
- 7 Alambre de Electrodo.
- 8 Conducto de Gas de Protección.
- 9 Pistola o Antorcha.
- 10 Pinza de Masa.
- 11 Pieza de Metal Base.
- 12 Cable de Masa.
- 13 Arco Eléctrico.
- 14 Alambre de Electrodo.
- 15 Campana de Gas de Protección.

(B)



(C)

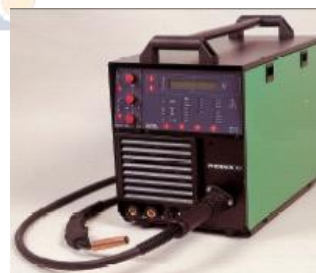


Figura 8. (A) Diagrama de instalación para soldadura MIG. (B, C) Ejemplos de fuentes de energía

3.1. Soplete

Los sopletes para soldadura MIG son considerablemente más complejos que los empleados para la soldadura con electrodo revestido. En primer lugar es necesario que el alambre se mueva a través de la pistola a una velocidad determinada y en segundo, la pistola debe ser diseñada para transmitir la intensidad al electrodo y dirigir el gas de protección. El método de refrigeración, con agua o aire (sólo con el gas de protección), y la localización de los controles de alimentación del electrodo y gases de protección, añaden complejidad al diseño de los sopletes.

La longitud de la manguera de la pistola debe ser lo más corta posible y también debe evitarse que se formen “bucles” para facilitar el arrastre. Por lo general la longitud es de 3-5 m para alambre de acero y de 2-3 m para aluminio.

Se comercializan de diferentes tipos, para soldadura manual y automática, para elevadas intensidades, refrigerados por agua y ligeros sin refrigeración.

3.1.1. Sopletes para soldadura manual

Son los que se utilizan para la denominada soldadura semiautomática. Pueden tener refrigeración por aire (sólo con el gas de protección) o por agua. Los elementos esenciales de un soplete se muestran en la *figura 9*, en la *figura 10* y en la *figura 11*. Los elementos más importantes de este tipo de soplete son: Boquilla de gas, punta de contacto, conducto de alimentación o guía, cable de energía, mangueras de gas y agua e interruptor.

Boquilla de gas. La boquilla dirige el flujo de gas de protección hacia la zona de soldadura. Es normalmente de cobre o cobre–berilio y tiene un diámetro interior que oscila entre 10 y 20 mm, dependiendo del tamaño de la pistola. Un caudal adecuado es importante para la protección del metal soldado de la contaminación atmosférica. Debe seleccionarse la boquilla adecuada para cada aplicación, las boquillas de diámetros mayores deben utilizarse para elevadas intensidades y grandes baños de fusión y las de menor diámetro para intensidades bajas y arco corto. Para soldadura por puntos las boquillas están diseñadas de modo que permitan la salida del gas cuando esta presionadas contra el metal base.

Punta de contacto. Es uno de los elementos más económicos de una instalación MIG y sin embargo, utilizar la adecuada y sustituirla cuando esté “gastada” es de gran importancia para evitar problemas con la alimentación del alambre y de contacto eléctrico. Es de cobre o aleaciones de cobre, transfiere la intensidad de soldadura al alambre y dirige este hacia el metal base. La punta de contacto está conectada eléctricamente al grupo por el cable de energía. La parte interior de la punta de contacto debe tener una superficie lisa para que el alambre de soldadura pase fácilmente y haga buen contacto eléctrico. Generalmente el orificio por donde pasa el alambre debe ser entre 0,1-0,2 mm de diámetro superior al del alambre. La práctica de utilizar una punta de contacto de diámetro superior para evitar problemas de alimentación es un recurso que solo sirve para enmascarar otros problemas más graves del circuito de alimentación y que a lo largo del tiempo disminuyen el rendimiento de la instalación. La punta de contacto debe estar firmemente sujeta al soplete y centrada en la boquilla de gas. Para transferencia por arco corto, la punta de contacto debe sobresalir de la boquilla de gas unos 2 mm, mientras que para arco largo debe estar retraída 2 mm. Durante la soldadura debe comprobarse periódicamente si el orificio se ha agrandado por el desgaste con el alambre o si alguna salpicadura evita que el alambre salga correctamente. En algunas aplicaciones, el tubo de contacto está doblado con la intención de garantizar la existencia de contacto eléctrico con el alambre en movimiento. Cuando la pistola es de cuello curvo ya se asegura el contacto sin necesidad de usar puntas de contacto doblados. Este tipo de soplete es el preferido generalmente para soldar en todas las posiciones.

Conducto de alimentación o guía. Debe ser del material y el diámetro apropiado. Se recomienda de acero cuando se va a utilizar con alambre duros como el acero al carbono, inoxidable y cobre y de Nylon si se va a utilizar con alambre blandos como aluminio o magnesio. Cuando la guía es de Nylon se debe tener un cuidado especial cuando se introduce el alambre para evitar que dañe el Nylon, para ello es aconsejable limar su punta. La guía debe ser revisada periódicamente para comprobar que está limpia y en buenas condiciones para facilitar el paso del alambre.

El cable y las mangueras llevan respectivamente la energía, el gas y el agua de refrigeración de la fuente de suministro al soplete.

Interruptor. Suele tener forma de gatillo en los sopletes de alimentación manual. Actúa para comenzar o detener la alimentación de alambre. Puede ser de 2 o 4 tiempos dependiendo, si se van a realizar soldaduras de pequeña o una gran longitud. Permite al soldador decidir si presiona de modo continuo el interruptor durante la soldadura, liberando el interruptor al terminar la soldadura (2 tiempos) o “presiona y suelta” en el inicio de la soldadura y “presiona y suelta” para terminar.

Los sopletes refrigerados por agua son similares a los no refrigerados, incorporando los conductos que permitan la circulación del agua hasta la boquilla. La refrigeración con agua hace que se produzca una menor adherencia de salpicaduras a la boquilla. La *figura 11A* muestra los componentes esenciales de un soplete refrigerado por agua.

La selección entre refrigeración por agua o por aire se debe basar en el tipo de gas de protección, intensidad y voltaje de soldadura, diseño de las uniones a soldar y práctica existente en el taller. Para intensidades de soldadura equivalentes, los sopletes refrigerados por agua funcionan a temperaturas considerablemente inferiores.

Cuando se utiliza CO₂ como gas de protección, se calienta menos la pistola que cuando se utilizan mezclas de argón con otros gases. Sin embargo, el tipo de unión tiene más influencia en la cantidad de calor transferido al soplete que el tipo de gas de protección empleado. En la soldadura de uniones en esquina o en T la pistola se calienta más que en las uniones a tope o de solape, en las cuales el calor se distribuye en varias direcciones.

Los sopletes refrigerados por aire (solo con gas de protección), son más pesadas que los refrigerados por agua a igualdad de capacidad de disipación de calor. Los sopletes refrigerados por aire pueden soldar con intensidades de hasta 500 A. como máximo aunque los 250 o 300 A. es un límite más realista. Los sopletes refrigerados por agua se emplean para intensidades entre 200 y 750 A. Sin embargo, el llegar al límite superior en estos sopletes manuales, dependerá más bien de si el soldador es capaz de tolerar el calor desprendido por radiación del arco y del cordón depositado.

Los sopletes vistos anteriormente pueden incorporar diversas modificaciones en función del fabricante o de la utilización a la que se le destina. Cuando se utiliza un soplete de gran longitud o se utilizan alambres blandos como el aluminio o de pequeños diámetros, que puedan

presentar problemas para su alimentación, se utilizan sopletes tipo “Push-Pull”. Estos sopletes, llevan unos rodillos, que están sincronizados con los del alimentador y hacen las funciones de empujar (push) el alambre y tirar (pull) de él.

Otros tipos de sopletes llevan una bobina de 0,5 a 1 kg (*figura 9E*) para aplicaciones donde el arrastre es crítico (aluminio) o un sistema de aspiración de humos (*figura 9D*).

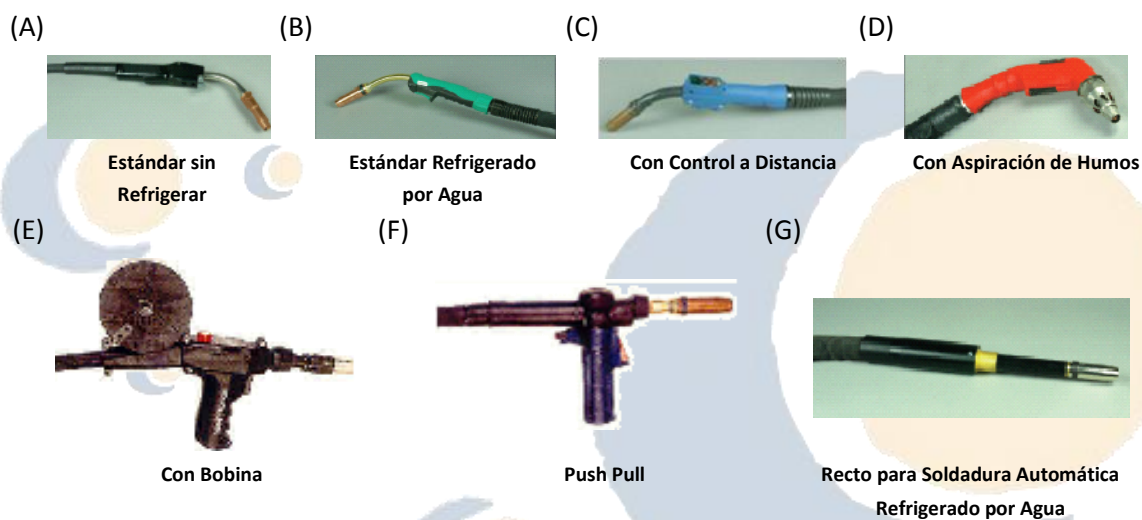


Figura 9. Diferentes tipos de sopletes MIG (A) Estándar sin refrigerar, (B) estándar refrigerado por agua, (C) con control a distancia, (D) Con aspiración de humos, (E) con bobinas, (F) Push Pull y (G) recto para soldadura automática refrigerado por agua

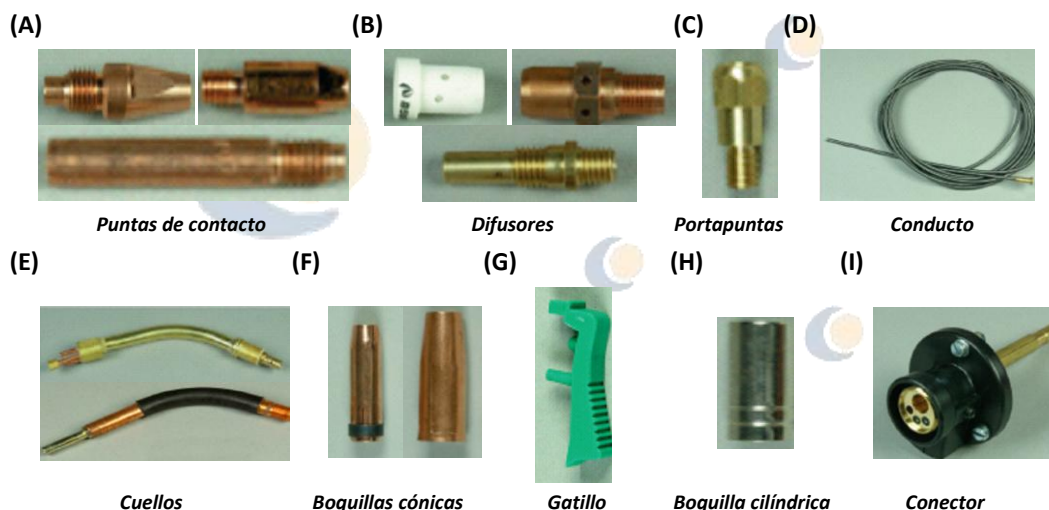
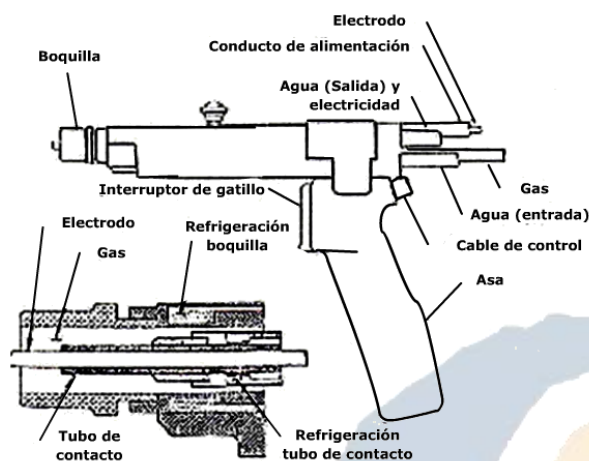


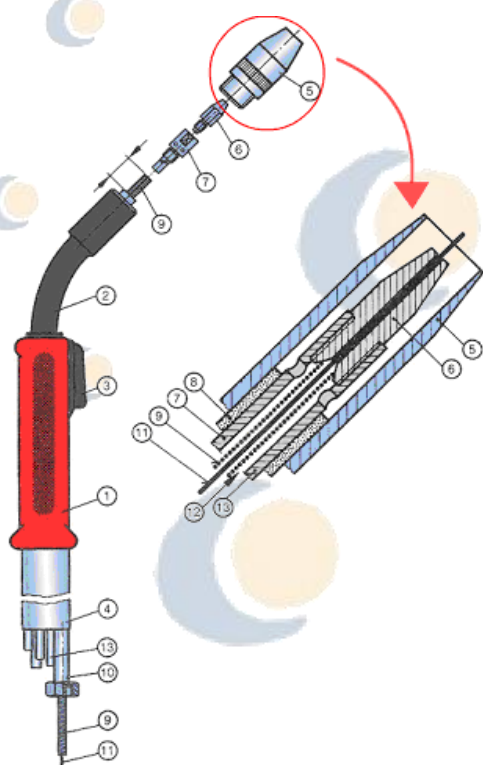
Figura 10. Accesorios de sopletes MIG: (A) puntas de contacto, (B) difusores, (C) portapuntas, (D) conducto, (E) cuellos, (F) boquillas cónicas, (G) gatillo, (H) boquilla cilíndrica and (I) conector

(A)



Refrigerado por agua

(B)



Refrigerada por aire

- | | |
|----|--|
| 1 | Mango. |
| 2 | Cuello. |
| 3 | Interruptor. |
| 4 | Conducto portacables. |
| 5 | Tobera. |
| 6 | Tubo de contacto. |
| 7 | Portatubo (acoplamiento con la tobera) |
| 8 | Aislante. |
| 9 | Tubo-guía espiral. |
| 10 | Manguera. |
| 11 | Electrodo. |
| 12 | Suministro de gas de protección. |
| 13 | Suministro de corriente de soldeo. |

Figura 11. Detalle de diferentes tipos de sopletes MIG refrigerados**3.1.2. Sopletes para soldadura automática**

En este caso, la pistola está sujeto y guiado por medios mecánicos. Pueden estar igualmente refrigerados por aire o por agua. Los componentes principales son generalmente los mismos ya vistos para los sopletes manuales (soldadura semiautomática). En la *figura 11* pueden verse el aspecto y la sección de un soplete para soldadura automática y de las boquillas de soldadura con

puntas de contacto rectas y dobladas. En algunos modelos de sopletes se hace llegar el gas de protección al arco a través de conductos externos, en lugar de conductos internos concéntricos con el alambre.

3.2. Alimentador de alambre

Es el dispositivo que hace que el alambre pase por la punta de contacto de la pistola para fundirse en el arco. Tiene una gran importancia, ya que la calidad y el aspecto de las soldaduras dependen de que el alambre llegue al tubo de contacto con una curvatura pequeña, perfectamente regular, y con una velocidad lo más constante posible. Para ello, la alimentación del alambre ha de ser constante y sin deslizamientos en los rodillos. También es importante que pueda pararse de forma instantánea.

(A)



(B)



Figura 12. Alimentadores con y sin protector de bobina

La mayoría de los alimentadores son de velocidad constante, es decir, la velocidad es establecida antes de que comience la soldadura y se utilizan con fuentes de alimentación de característica plana (de potencial constante). La alimentación comienza o finaliza actuando sobre el interruptor situado en la pistola.

Los sistemas de velocidad variable son adaptables únicamente a las fuentes de alimentación de característica descendente (de intensidad constante) debido a que dependen de las desviaciones en el voltaje del arco para aumentar o disminuir la velocidad de alimentación del alambre y por tanto se usan menos que los de alimentación de velocidad constante.

Cuando se utiliza una fuente de alimentación de característica descendente (de intensidad constante) es necesario utilizar un control automático de voltaje. Este control detectará los cambios en voltaje del arco y ajustará la velocidad de alimentación de alambre para mantener la longitud del arco constante. Esta combinación de alimentador de alambre de velocidad variable y fuente de alimentación de característica descendente (Intensidad constante) se limita a los

diámetros más elevados (superiores a 1,6 mm), donde las velocidades de alimentación son más bajas. A elevadas velocidades de alimentación de alambre, los ajustes de velocidad del motor no pueden hacerse suficientemente rápidos para mantener la estabilidad del arco.

Los sistemas de alimentación pueden ser de varios tipos: de arrastre, de empuje o combinados de arrastre-empuje. El tipo depende fundamentalmente del tamaño y composición del alambre usado y, a veces, de la distancia entre la bobina de alambre y la pistola.

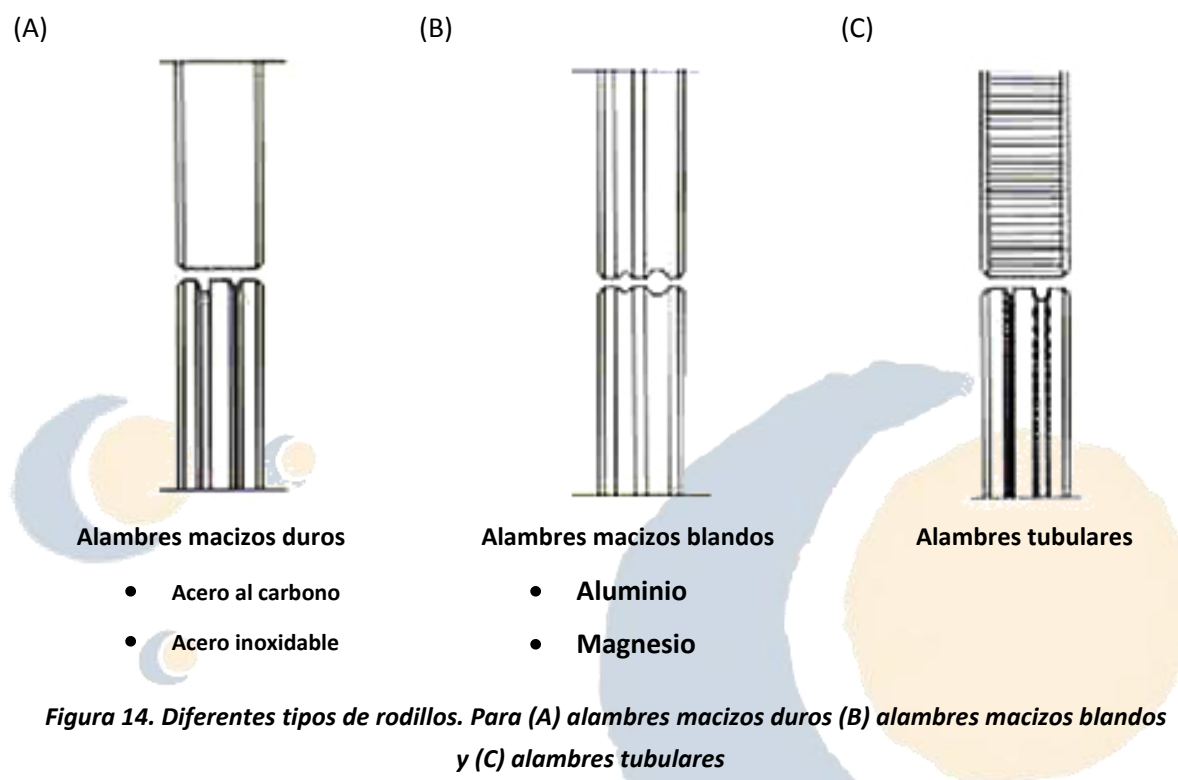
La mayoría de los sistemas son de empuje, en los que el alambre es estirado desde un carrete por medio de unos rodillos y es empujado a través del conducto de alimentación de la pistola. Normalmente es necesario un sistema de frenado para la bobina, para evitar su giro incontrolado. En la *figura 12* pueden verse dos de los alimentadores típicos. Con y sin protector de bobina y con 2 o 4 rodillos. Para aplicaciones críticas o en las instalaciones donde se requiera tener una mayor garantía en el arrastre se utilizan 4 rodillos.



Figura 13. Sistema de 4 rodillos

El tipo de rodillos generalmente utilizado (*figura 14*) es:

- Para alambres macizos duros, como aceros al carbono e inoxidables, con la ranura guía en forma de V para los rodillos inferiores y planos los superiores. Este tipo de rodillos no se recomienda para utilizarlos con alambres macizos blandos, ya que se laminarían y darían problemas en el conducto de alimentación o en la punta de contacto.
- Para los alambres macizos blandos, como aluminio y magnesio, con la ranura guía en forma de U para ambos rodillos, inferiores y superiores.
- Para los alambres tubulares, se utilizan rodillos con ranura guía en U y con estrías, para transmitir el máximo empuje con la presión mínima.



Cuando el alambre tiene un diámetro muy pequeño (inferior a 0,7 mm en acero y 1 mm en materiales blandos como el aluminio) puede ser difícil alimentar a las distancias requeridas mediante el sistema normal de empuje del alimentador, por lo que se recurre a otro sistema de alimentación incorporado en la pistola de “empujar y tirar”. Este sistema se conoce también con el nombre inglés de “push-pull”. En alguno de los últimos desarrollos de sopletes “push pull” tiene el sistema de rodillos llamado “tipo planetario” con la disposición de los rodillos formando 90º (figura 15A). Con esta disposición se busca principalmente un aumento de la superficie de contacto que facilite el arrastre de metales difíciles como aluminio.

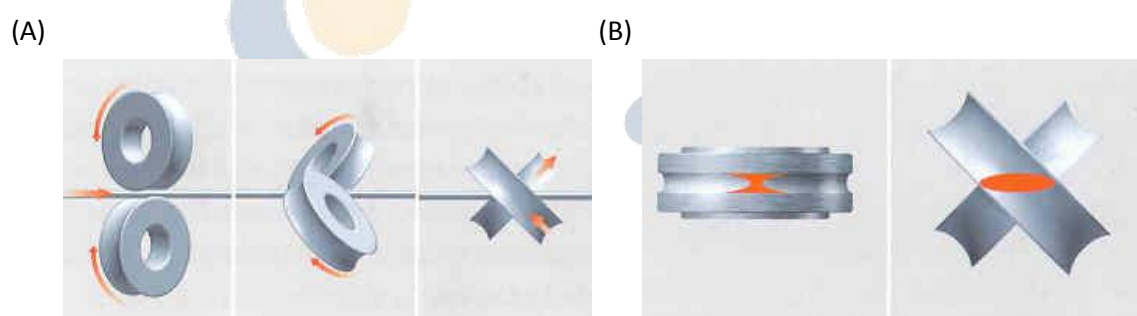


Figura 15. Sistema de rodillos tipo “planetario”

Antes de los rodillos del alimentador, algunas unidades de alimentación llevan un juego de rodillos para enderezar el alambre. Al devanarse éste, tiende a conservar una cierta curvatura que es conveniente hacer desaparecer para reducir rozamientos que puedan producir desgastes en la guía de entrada, guía del alambre y la punta de contacto. El enderezado del alambre se hace por medio de un tren de rodillos que le obliga a adoptar una flecha inversa a la que

pretende corregir. Para ello, los rodillos van dispuestos de forma que dos de ellos sirven de apoyo y el tercero transmite al hilo la presión adecuada mediante un resorte regulable.

3.3. Control

La principal función del control es regular la velocidad de alimentación de alambre. Incrementando la velocidad de alimentación se incrementa la intensidad y disminuyéndola se reduce la intensidad. El control regula el inicio y parada de la alimentación de alambre a través de la señal enviada desde el interruptor de la pistola.

El control también regula normalmente el preflujo y posflujo de gas de protección.

Entre los opcionales que puede llevar el control para mejorar la calidad de soldadura son:

- Inicio suave. La velocidad de alimentación de alambre es inicialmente más lenta hasta que el arco se ceba, entonces sube hasta la requerida para la soldadura. Con esto se consigue un mejor inicio de soldadura.
- Final suave. Corta la alimentación de alambre justamente antes de cortar la intensidad de soldadura. Su finalidad es evitar el cráter final
- Sistema “Touch-Star” inicio tocando con el alambre. El alambre comienza a alimentarse cuando toca al metal base.
- Terminación correcta del alambre. Para evitar que quede en el extremo final del alambre una gota excesivamente grande que interfiera en posterior inicio del arco. Esto es especialmente importante en soldadura automática.

3.4. Fuentes de alimentación

La corriente alterna apenas se emplea en la soldadura MIG (GMAW). La fuente de alimentación es básicamente un transformador / rectificador que toma una corriente alterna de elevado voltaje (220 a 380 V) y baja intensidad (20 a 50 A) y la transforma en una corriente continua de bajo voltaje (16-40 V) y elevada intensidad (80 a 500 A). En la mayoría de las aplicaciones se emplea corriente continua y polaridad inversa (CCPI) (electrodo al positivo), si bien se usa ocasionalmente la polaridad directa (CCPD) cuando la penetración tiene que ser mínima.

Se puede emplear dos tipos de fuentes de alimentación, diferenciadas por sus curvas características Voltaje–Intensidad: de voltaje descendente o intensidad constante y de voltaje constante. En el primer tipo, el voltaje cae cuando la intensidad aumenta. En el segundo, el voltaje permanece constante, o desciende ligeramente cuando la intensidad aumenta. La mayoría de los equipos MIG (GMAW) son del tipo de voltaje constante. Mientras que las de electrodo revestidos (SMAW) o TIG (GTAW) son de voltaje descendente.

3.4.1. Controles de Fuentes de Potencial Constante

Todos los equipos de potencial constante tienen al menos la posibilidad de seleccionar la intensidad y el voltaje. La intensidad se ajusta por medio de la velocidad de alimentación del alambre y el voltaje se selecciona directamente en el equipo o en el control remoto. Incrementando la velocidad de alimentación del alambre se incrementa proporcionalmente la intensidad de modo que sea suficiente para fundir el alambre y depositarlo en el baño de fusión. El voltaje ajusta la longitud del arco.

Algunos equipos también tienen la posibilidad de ajuste de la pendiente de la curva característica y la inductancia.

La influencia de estos controles se podrá estudiar en el apartado de características del equipo. La *figura 16A* muestra un equipo estándar con la posibilidad de seleccionar el voltaje (longitud de arco), la velocidad de alimentación de alambre (intensidad) y el tipo de pendiente de la curva característica.

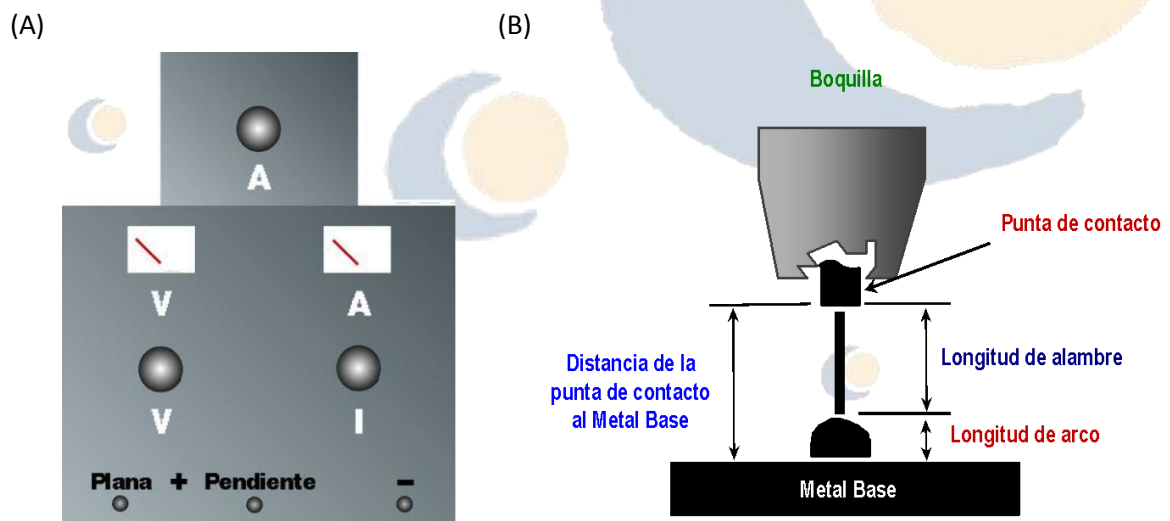


Figura 16. (A) Fuente de alimentación con posibilidad de ajustar la pendiente. (B) Longitud de alambre

3.4.2. La longitud de alambre

Es la distancia entre el extremo de la punta de contacto el extremo del alambre (*figura 16B*). Esta “longitud de alambre” es muy importante y puede afectar al precalentamiento del alambre y a determinar el nivel de intensidad

En la soldadura MIG (GMAW) la intensidad se transfiere al alambre en la punta de contacto. La energía resultante de la intensidad de soldadura se consume en dos diferentes lugares dentro del circuito de soldadura (*figura 17*):

1. Calentamiento por resistencia del alambre
2. Penetración dentro del metal base

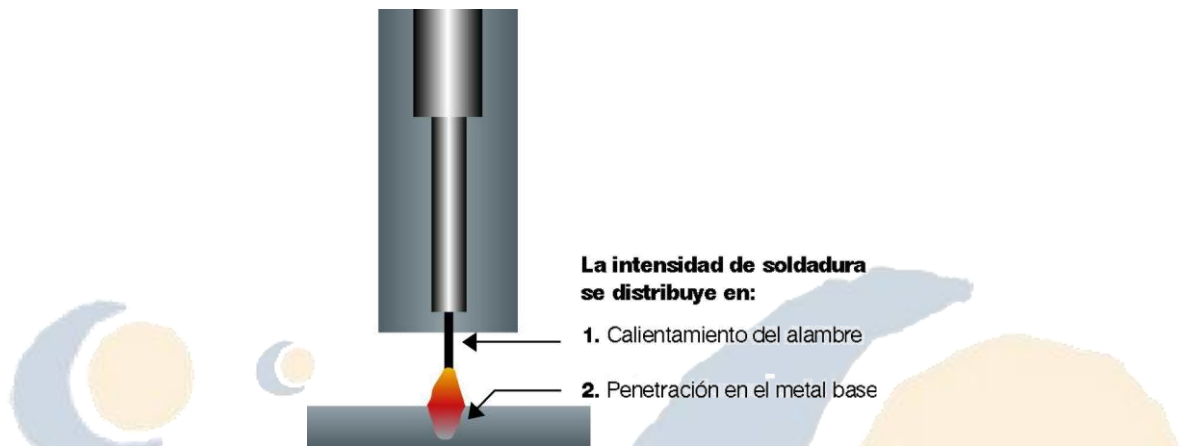


Figura 17. Distribución de la intensidad de soldadura

Cuando la intensidad pasa a través del alambre, este se calienta por la resistencia eléctrica que ofrece, elevándose la temperatura y ayudando a hacer más fácil la fusión del electrodo. Esta es la razón por la que la velocidad de deposición se incrementa cuando la longitud de alambre se eleva. Cuando la longitud de alambre se incrementa, la intensidad del arco disminuye, lo que ayuda a mantener la punta de contacto más fría a elevadas velocidades de deposición. Esto es una gran ayuda para controlar la penetración ya que cuando intensidad se incrementa también lo hace la profundidad de penetración. Utilizando un ajuste de longitud de alambre ligeramente más larga, más material de soldadura puede depositarse sin traspasar en chapas delgadas. Incrementando la longitud de alambre se hace más “duro” y difícil el inicio del arco debido a que hay menos intensidad disponible para el arco eléctrico por ser utilizada para el calentamiento por la resistencia eléctrica de la longitud de alambre. Cuanta más resistencia se intercala en el circuito de soldadura debido a la longitud de alambre, la “pendiente” del sistema también se incrementa. Esto también tiende a reducir la intensidad de cortocircuito.

La longitud de alambre también afecta al efecto de protección del gas. Cuando se incrementa, puede llegar a una longitud de alambre donde el gas de protección no puede hacer su efecto de proteger el baño de fusión.

3.4.3. Características de una fuente de alimentación de voltaje constante

3.4.3.1. Pendiente

La característica de un equipo estará determinada por los componentes utilizados en su diseño. En la *figura 18A* puede observarse los diferentes tipos de curvas características. La mayoría de los equipos que no tienen posibilidad de ajustar la pendiente llevan un preajuste de fábrica de 2 voltios/100 amperios (*figura 18B*). Esto corresponde con una curva característica tipo plano. (VC–Plana).

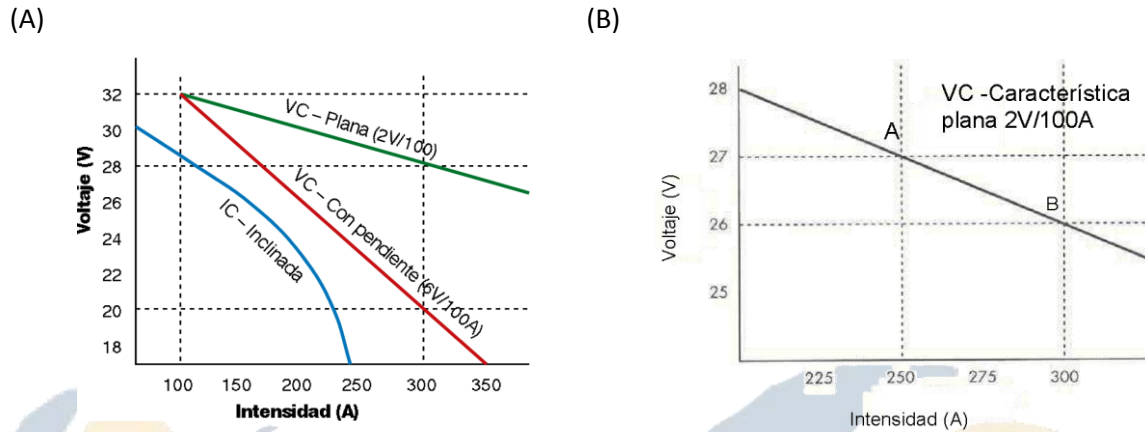


Figura 18. (A) Curvas características de una fuente de alimentación y (B) curva característica con pendiente 2V/100 A

Esto significa que por cada incremento de 100 Amperios el equipo producirá 2 voltios menos con el mismo ajuste de voltaje. Una de las máximas pendientes utilizadas en una fuente de alimentación de voltaje constante es la de 6 voltios/100 amperios. Esto corresponde con un tipo de “pendiente con caída” (VC-Con caída). Todavía se pueden encontrar equipos con la posibilidad de ajustar la “pendiente” de modo continuo, otros tienen tomas externas o internas para cambiar las diferentes pendientes. Puede ser necesario incrementar la pendiente de un equipo si se quiere controlar la soldadura con arco corto a bajas intensidades, ya que se limita la intensidad de cortocircuito. Esto reduce la tendencia a una penetración en exceso que traspasa en espesores delgados y disminuye las salpicaduras en los inicios del arco.

La figura 18B muestra una fuente de alimentación típica de curva característica VC de 2 V/100 A de pendiente. Seleccionadas unas condiciones de soldadura A de 27 V y 250 A, si durante la soldadura, la longitud de alambre se reduce, menos intensidad se empleará para precalentar el alambre y más se empleará en el arco. Supongamos que la intensidad se incrementa en 50 A, el nuevo punto B tendrá 26 V y 300 A. Estos nuevos parámetros de soldadura podrían estar por debajo de las condiciones necesarias para transferencia por arco largo y por tanto producirse un incremento de las proyecciones.

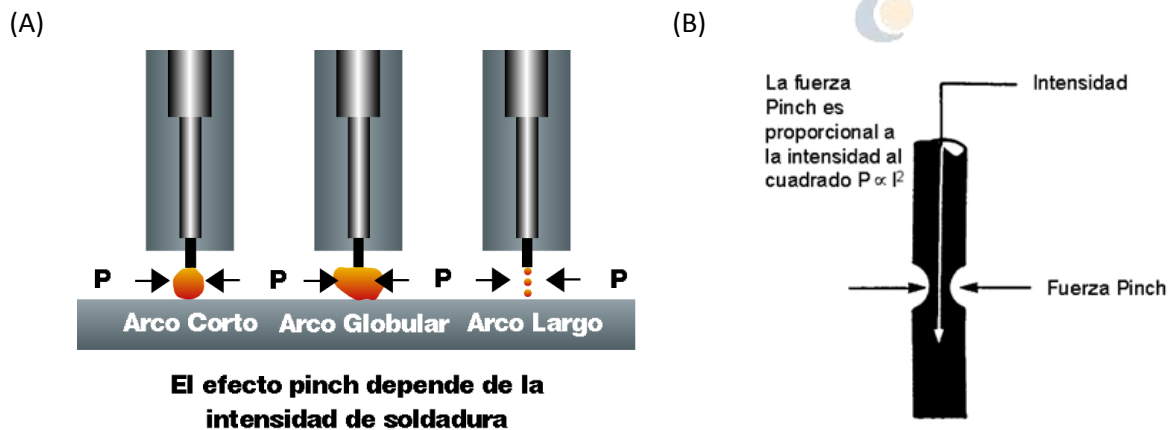


Figura 19. Fuerza “Pinch”

La pendiente tiene una función importante en la transferencia por arco corto, controla la intensidad de cortocircuito, que es la intensidad que fluye a través del alambre cuando toca al metal base. En MIG (GMAW), la transferencia de las gotas está controlada por la fuerza “pinch” (figura 19). Esta fuerza es de origen electromagnético y se produce cuando pasa una intensidad por un cable conductor.

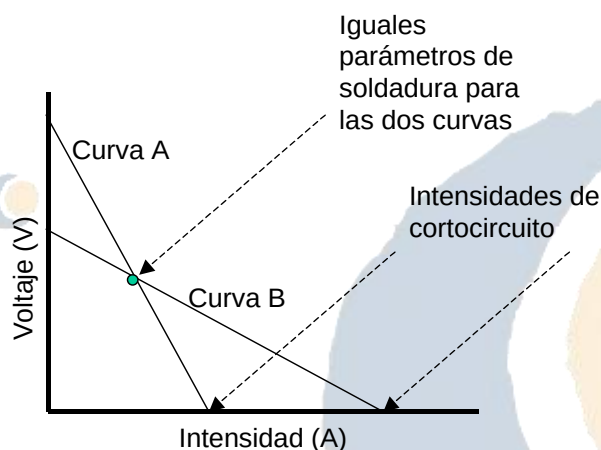


Figura 20. Efecto del cambio dependiente sobre la intensidad de cortocircuito

La intensidad de cortocircuito y por tanto la fuerza Pinch es una función de la pendiente de la curva característica del equipo (figura 20). El voltaje e intensidad de dos fuentes de alimentación puede ser los mismos, pero la intensidad de cortocircuito de la curva A es inferior a la de la curva B. La curva A tiene más pendiente que la curva B, tiene una intensidad de cortocircuito menor y por lo tanto una fuerza Pinch inferior. En la transferencia por arco corto es importante la intensidad de cortocircuito ya que la fuerza Pinch resultante determina el modo de cómo se desprende la gota del alambre y esto afecta a la estabilidad del arco. Si no hay pendiente o es pequeña, la intensidad de cortocircuito se elevará muy deprisa a su más alto nivel, la fuerza Pinch también será muy elevada y la gota fundida se separará violentamente del alambre produciendo salpicaduras. Si al contrario la intensidad de cortocircuito está limitada a un nivel bajo por una curva con una pendiente excesiva, la fuerza Pinch será demasiado baja para separar la gota y restablecer el arco y el alambre se depositará sobre el metal base sin fundirse adecuadamente. Si la pendiente es la apropiada, la gota se desprenderá suavemente y sin apenas salpicaduras (figura 21).

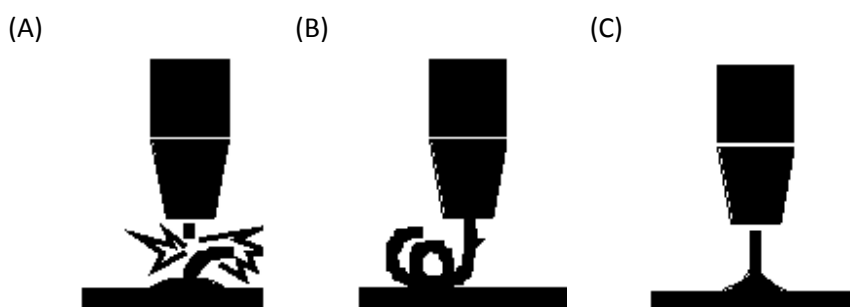


Figura 21. Efecto de la pendiente sobre la transferencia e inicio del arco

3.4.3.2. Inductancia.

La inductancia es un tipo de ajuste que es más frecuente que la pendiente en las fuentes de alimentación de voltaje constante. La inductancia es otro método para controlar el arco. Este se realiza controlando la velocidad a la que la intensidad crece para alcanzar la intensidad de soldadura seleccionada. La *figura 22* muestra el efecto de la inductancia. La curva superior muestra lo que sucede cuando no hay prácticamente inductancia y cuando hay cortocircuito, la intensidad se eleva tan rápidamente como se lo permite la fuente de alimentación. La fuerza Pinch se aplicará rápidamente y la gota se desprenderá bruscamente y se producirán excesivas salpicaduras. Una inductancia media, dará como resultado un inferior número de cortocircuitos, un incremento del tiempo de arco, un baño más fluido y un cordón más plano. Una inductancia máxima, puede dar como resultado que el inicio del arco sea duro porque se limita la intensidad máxima de cortocircuito. La inductancia debe mantenerse baja para transferencia por arco largo. Esto dará como resultado un mejor inicio del arco y una mayor estabilidad elevadas intensidades.

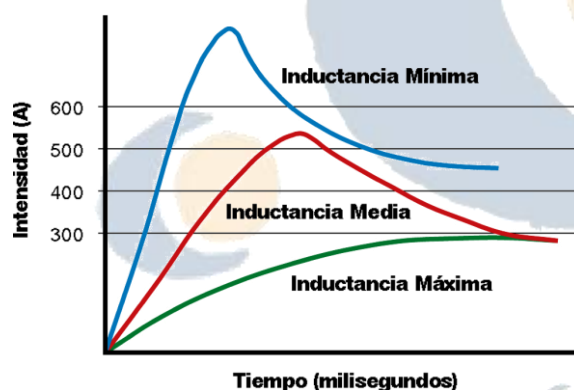


Figura 22. Efecto de incremento de la inductancia

Las características de inicio de arco son particularmente importante en la transferencia por arco corto. Para conseguir un inicio de arco suave debe conseguirse un control adecuado del nivel de la intensidad de cortocircuito (fuerza Pinch-Pendiente) y de la velocidad de incremento de la intensidad (inductancia).

3.4.3.3. Cambio de la distancia entre la pistola y el metal base

La *figura 23* muestra las fases del auto-reglaje que se produce en este caso. Las condiciones iniciales son las correspondientes al punto A (*figura 23A*), es decir, donde la curva característica del arco corta con la característica de la fuente. Si la distancia entre la pistola y el metal base se aumenta (*figura 23B*), con lo cual también aumenta la longitud del arco, el nuevo punto de trabajo será el B, que es el punto de intersección de la característica de la fuente con la nueva característica del arco correspondiente a la mayor longitud de arco. La tensión del arco cambia muy poco, pero la intensidad disminuye mucho y por tanto baja la energía que funde el hilo de soldadura. Dado que la velocidad de alimentación del hilo no ha cambiado, la disminución de energía provoca que el arco se acorte por lo que el punto trabajo volverá a A desde B, hasta

restablecerse el equilibrio de energía. Si la distancia entre la pistola y el metal disminuyera (*figura 23C*), con lo cual disminuiría la longitud de arco, la intensidad subiría y se fundiría más alambre con lo que se restablecería la longitud del arco inicial.

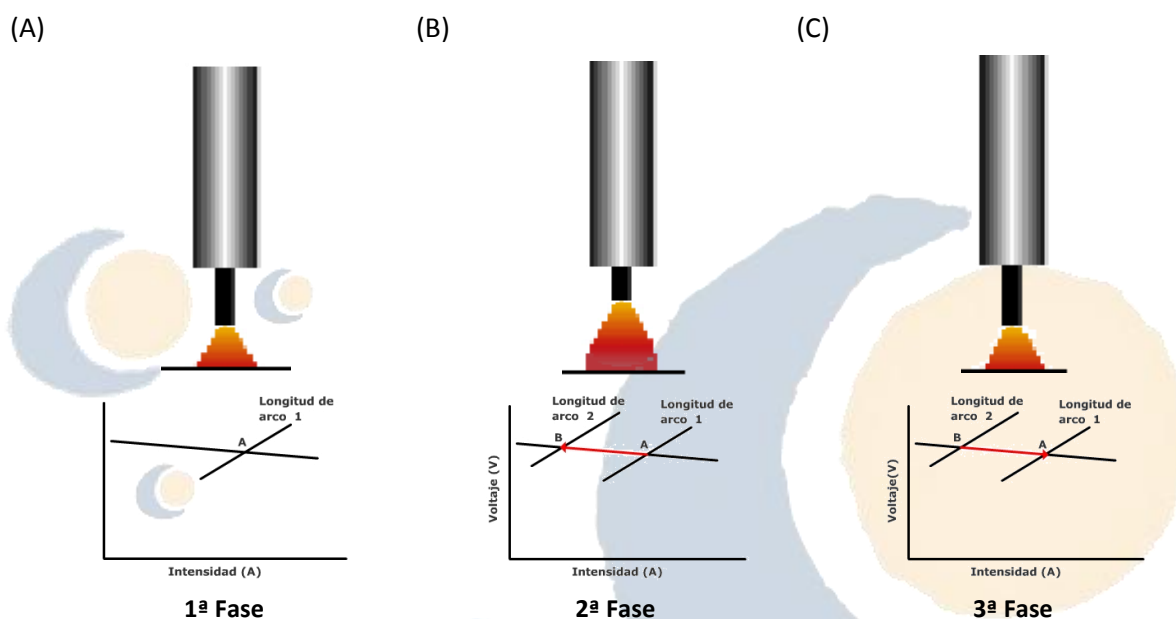


Figura 23. Autorreglaje de la longitud del arco con el cambio de la distancia entre la pistola y el metal base: (A) 1ª fase, (B) 2ª fase y (C) 3ª fase

3.4.3.4. Cambio de la velocidad de avance del alambre

Nuevamente el punto de trabajo de partida es el punto A, esta vez en la *figura 24A*. El aumento de la velocidad provoca el acortamiento del arco y por tanto una disminución de la tensión del arco. El punto de trabajo se desplaza a B, donde tensión del arco cambia muy poco, pero la intensidad se incrementa mucho y por tanto sube la energía que funde una mayor cantidad de hilo, restableciendo el equilibrio y volviendo a la situación inicial A. La disminución de la velocidad (*figura 24B*) provoca la reacción inversa en el equipo.

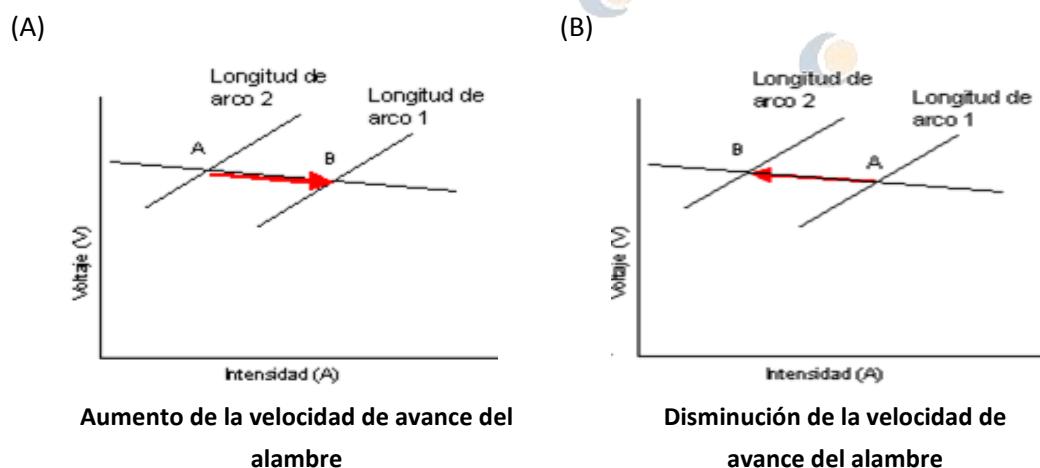


Figura 24. Autorreglaje de la longitud del arco con el cambio de la velocidad de avance del hilo

3.5. Suministro de gas con regulación

La alimentación de gas puede hacerse desde una botella de gas comprimido o desde un suministro centralizado. Cuando se hace desde una botella, es necesario conectar a la válvula de esta, un regulador-caudalímetro que permita poder graduar el caudal de gas de protección necesario para cada aplicación.

Los dos tipos de caudalímetros utilizados son los de indicador de caudal por manómetro (*figura 25A*) y los de indicador del caudal por flotámetro (*figura 25B*). Para poder cubrir las diferentes aplicaciones de la soldadura MIG, generalmente pueden suministrar un caudal regulado entre 0 y 30 litros/minuto. Se prefieren los caudalímetros con flotámetro cuando la aplicación requiere un control más riguroso del caudal del gas de protección.

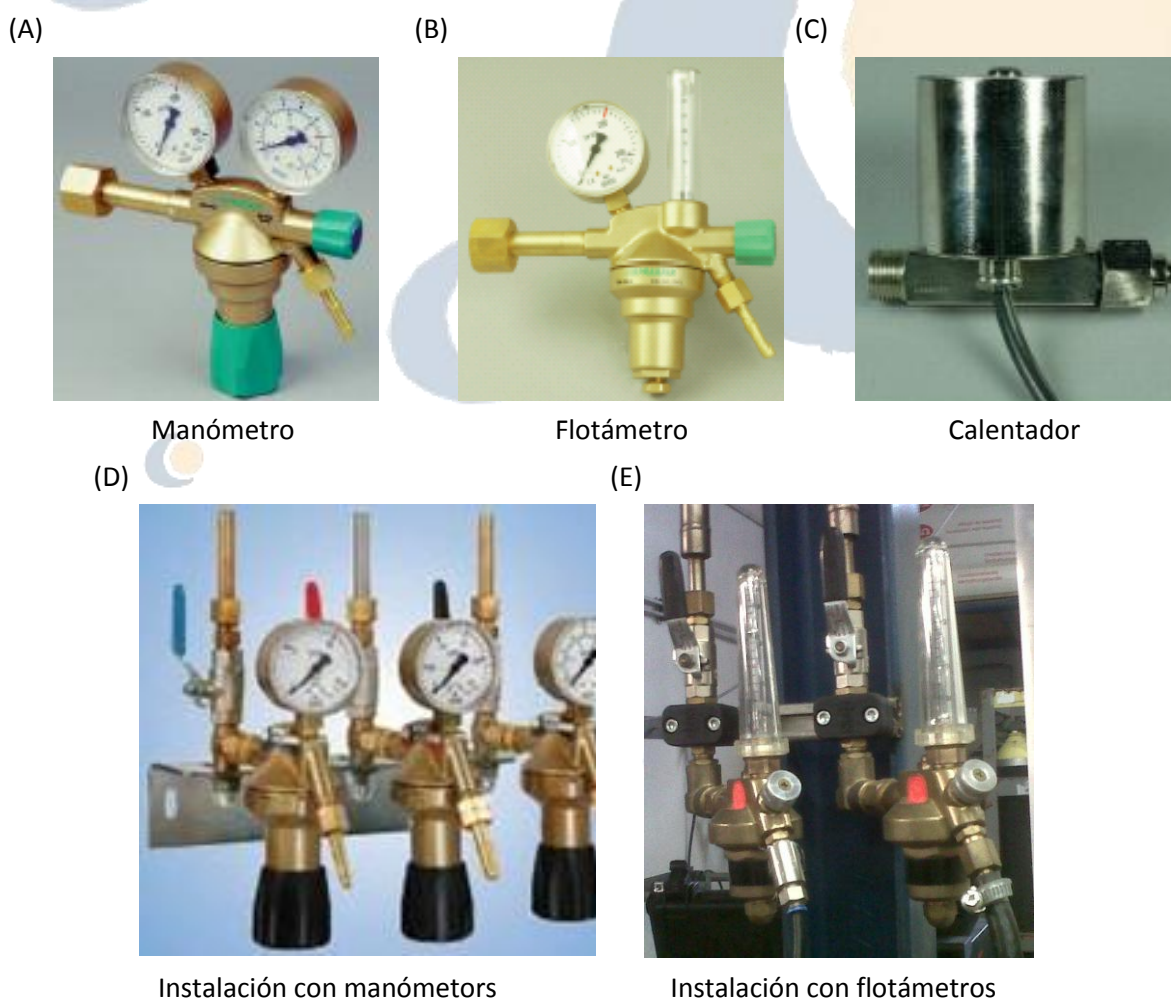


Figura 25. Caudalímetro con (A) manómetros y (B) con flotámetro. Puesto de trabajo (D) con manómetro y (E) con flotámetro. (C) Calentador

Cuando el gas es CO_2 o una mezcla de Ar-CO_2 con un contenido elevado de CO_2 , puede ser necesario colocar un calentador de gas (*figura 25C*) antes del caudalímetro, para evitar que el frío producido por la expansión del gas pueda hacer que se congele y averíe. Este calentador

será más necesario cuanto mayor sea el contenido de CO₂ en la mezcla, cuanto mayor sea el caudal y el ciclo de trabajo del equipo y cuando la temperatura sea baja.

Cuando el suministro de gas está centralizado, el gas de protección llega por medio de la canalización de gas al puesto de trabajo, desde donde se puede regular el caudal necesario para cada aplicación para suministrar a la instalación MIG (*figura 25D y figura 25E*).

Antes de llegar al soplete, el gas pasa por la electroválvula que actúa dejándolo pasar durante el tiempo de soldadura e interrumpiendo su paso cuando no se está soldando. Mediante temporizadores, puede ajustarse la apertura y cierre de la electroválvula con relación al tiempo de soldadura, para fijar el preflujo y posflujo de gas y así evitar dejar sin protección al baño fundido en el momento de inicio y cuando se termina de soldar. El gas llega al baño de fusión a través de la pistola, por un conducto flexible que va desde la electroválvula al soplete. Este conducto va por el interior de la funda que une la pistola con el alimentador de alambre.

3.6. Suministro de agua

Cuando se suelda con intensidades superiores a 250-300 A es preciso utilizar sopletes refrigerados por agua, ya que la refrigeración de la pistola por el propio gas de protección sería insuficiente, pudiendo producirse daños o la inutilización de la pistola o dar problemas en la alimentación del alambre o incrementar el consumo de accesorios de la pistola.

La alimentación de agua para tal refrigeración puede hacerse desde un simple grifo dispuesto cerca de la máquina de soldadura, o lo que más normal, con un sistema de circuito cerrado.

Sea cual sea el sistema, es necesario un conducto de alimentación de agua que refrigerare la pistola y otro de retorno. Como ocurría con el gas, existe una electroválvula para que el agua circule solamente en los momentos en que se está soldando. Los conductos de agua también son flexibles y como los de gas forman parte del conjunto de la pistola.

4. VARIABLES DEL PROCESO. SELECCIÓN

Algunas de las variables que más influencia en el proceso son:

- Intensidad
- Polaridad
- Voltaje de arco
- Velocidad de soldadura
- Longitud de alambre (Extensión de electrodo)
- Orientación de alambre
- Posición de soldadura

- Diámetro de electrodo
- Gas de Protección

4.1. Intensidad

Manteniendo las otras variables constantes, la intensidad varía de forma lineal con la velocidad de alimentación del alambre en el rango inferior de intensidades. Para intensidades elevadas se pierde la proporcionalidad, debido probablemente al aumento de resistencia del circuito por calentamiento en la extensión del electrodo. Como puede apreciarse en la *figura 26*, cuando se incrementa el diámetro del alambre, manteniendo la misma velocidad de alimentación, es necesaria una mayor intensidad. Esta relación entre la velocidad de alimentación y la intensidad está afectada por la diferente composición química del alambre, puntos de fusión y resistividad de cada metal. Manteniendo constante las otras variables, un incremento de la intensidad tendrá como resultado:

- Un incremento en la profundidad y anchura de la penetración.
- Un incremento en la velocidad de deposición.
- Un incremento en la dimensión del cordón de soldadura.

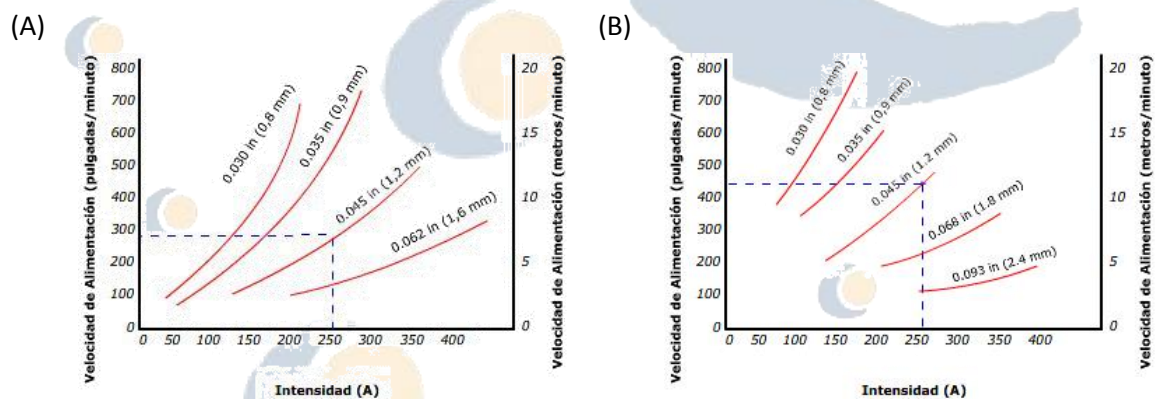


Figura 26. Curva intensidad-velocidad de alimentación (A) para acero al carbono y (B) para aluminio

4.2. Polaridad

La polaridad se utiliza para definir la conexión eléctrica de la pistola con relación a los polos de una fuente de alimentación de corriente continua.

Cuando la pistola está conectado al polo negativo (*figura 27A*), la polaridad se define como corriente continua electrodo negativo (CCEN) o corriente continua polaridad directa (CCPD). Cuando la pistola está conectada al polo positivo (*figura 27B*), la polaridad se define como corriente continua electrodo positivo (CCEP) o polaridad inversa (CCPI).

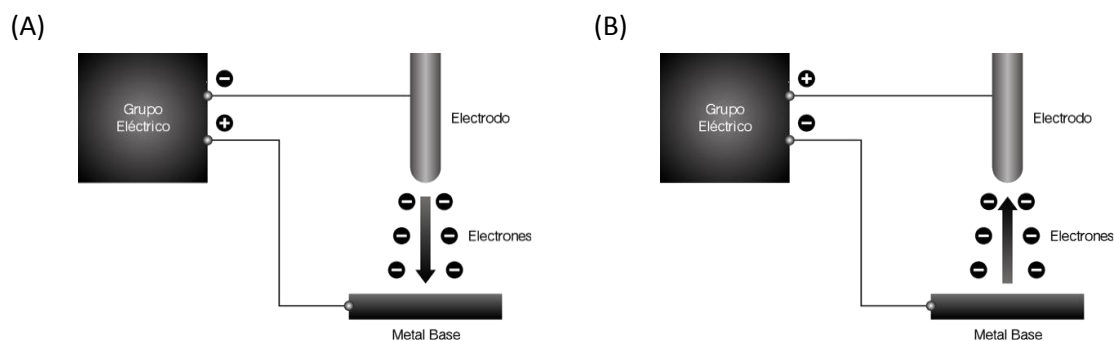


Figura 27. (A) Conexión corriente continua electrodo negativo (CCEN) o corriente continua polaridad directa (CCPD) y (B) conexión corriente continua electrodo positivo (CCEP) o corriente continua polaridad inversa (CCPI)

La mayoría de las aplicaciones MIG utilizan corriente continua polaridad inversa (CCPI). Con esta conexión, se puede obtener para un amplio rango de intensidades, un arco estable, unas transferencias de metal suaves, bajas proyecciones y unos cordones con buenas características y con la penetración adecuada.

4.3. Voltaje de arco (longitud de arco)

El voltaje de arco y la longitud de arco, son términos diferentes, pero que están relacionados. Un aumento o disminución del voltaje del arco, producirá un aumento o disminución proporcional de la longitud del arco. Pero el voltaje del arco no solo depende de la longitud del arco, también depende de otras variables como gas de protección, composición y diámetro de alambre. Cuando se incrementa la longitud de arco, la superficie cubierta por este en la pieza será mayor, produciendo una zona fundida más amplia, menos profunda y con un cordón más plano y más ancho que un arco más corto (*figura 28*), en el cual el calor y la energía están más concentrados. Los voltajes demasiado altos (arcos muy largos) ocasionan mala protección e inestabilidad, dando origen a porosidad, proyecciones y mordeduras cuando se cubre más superficie con el arco de la que corresponde a la cantidad de material aportado. Los voltajes demasiado bajos dan lugar a zonas fundidas muy pequeñas, cordones estrechos y con sobrecordón.

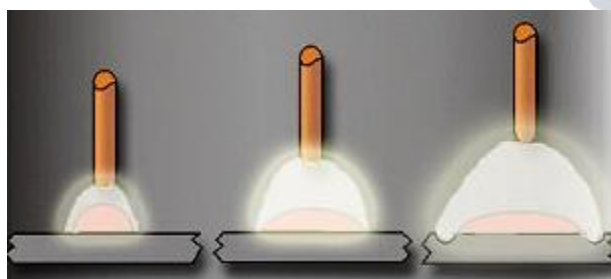


Figura 28. Efecto de la fijación de distintos parámetros en la longitud del arco y cordón de soldadura

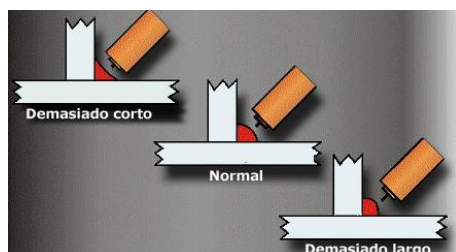
4.4. Velocidad de soldadura

Es la velocidad lineal a la cual el arco se mueve a lo largo de la unión. Manteniendo constante el resto de las variables, la penetración es máxima para unos valores intermedios de la velocidad de soldadura. Cuando ésta es baja, la cantidad de material aportado y el calor por unidad de longitud de cordón, aumentan. Sin embargo, a muy bajas velocidades, la penetración disminuye porque el arco incide sobre un baño fundido de tamaño grande en lugar de hacerlo sobre el material base. Cuando se incrementa la velocidad, la energía por unidad de longitud de soldadura transmitida al metal base por el arco, es inicialmente incrementada, ya que el arco actúa más directamente sobre el metal base. Si la velocidad sigue incrementando, menos energía por unidad de longitud se transmitirá al metal base. Cuando la velocidad de soldadura llega a ser mayor que la idónea, disminuye el tamaño del cordón, inclusive pudiendo ser menor la penetración, y pueden provocarse mordeduras al no disponerse de suficiente material de relleno.

4.5. Longitud de alambre o Extensión del electrodo

Es la distancia entre el extremo de la punta de contacto y el extremo del alambre (figura 16B). Al aumentar la longitud de alambre, aumentará la resistencia eléctrica y se elevará la temperatura del alambre. Este precalentamiento hará que el alambre necesite menos intensidad para fundirse, y que se produzca, un pequeño incremento de la velocidad de fusión del alambre y originar un exceso de material aportado. El incremento de la resistencia eléctrica del alambre, producirá una mayor caída del voltaje desde la punta de contacto al metal base. A esto responderá el equipo disminuyendo la intensidad, que reducirá la velocidad de fusión del alambre y que disminuirá la longitud de arco. Así, a menos que haya un incremento del voltaje desde el equipo de soldadura, el alambre se depositará en un cordón estrecho y con sobrecordón. En el extremo, puede incluso hacerse insuficiente el grado de protección del gas (debido a la distancia de la boquilla) y producirse porosidad. Esta variable también tiene influencia en el modo de transferencia que se establece. A igualdad del resto de parámetros, la transferencia con arco corto, se obtendrá para las menores longitudes de alambre. Son longitudes aceptables entre 6 y 13 mm para arco corto y de 13 a 25 mm para globular o largo.

(A)



(B)

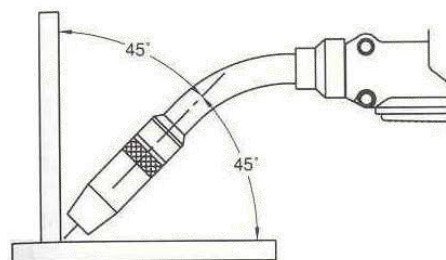


Figura 29. (A) Longitud de arco apropiada para obtener una transferencia por corto circuito para el caso del soldeo de una unión en ángulo y (B) posición para la pistola en soldeo en ángulo

4.6. Diámetro de electrodo

La velocidad de respuesta del electrodo a los cambios de longitud del arco es mayor cuanto menor es el diámetro del electrodo, puesto que es más fácil su fusión cuanto menor es el diámetro. Esto mejora la capacidad de autorregulación y por tanto el arco es más estable con pequeños diámetros de electrodo. En este caso, además resulta haber mayor profundidad de penetración, puesto que al disminuir el diámetro, aumenta la densidad de corriente y disminuye la sección del cono del arco, por lo que, a igualdad de intensidad, habrá más concentración de calor con un electrodo más fino, y por tanto un cordón más estrecho y profundo.

4.7. Orientación del alambre.

Cómo en todos los procesos de soldadura, la orientación del alambre con respecto a la dirección de avance al soldar, afecta al tipo de cordón y a la penetración. La orientación del alambre afecta al tipo de cordón y a la penetración en mayor medida que el voltaje del arco o la velocidad de soldadura.

Cuando el electrodo apunta en dirección opuesta a la de soldadura, se denomina mano hacia atrás con un ángulo de arrastre. Cuando el electrodo apunta en la dirección de la soldadura, se denomina mano hacia delante con un ángulo de empuje. En la *figura 30* puede observarse como afecta la orientación del alambre sobre la anchura y la penetración.

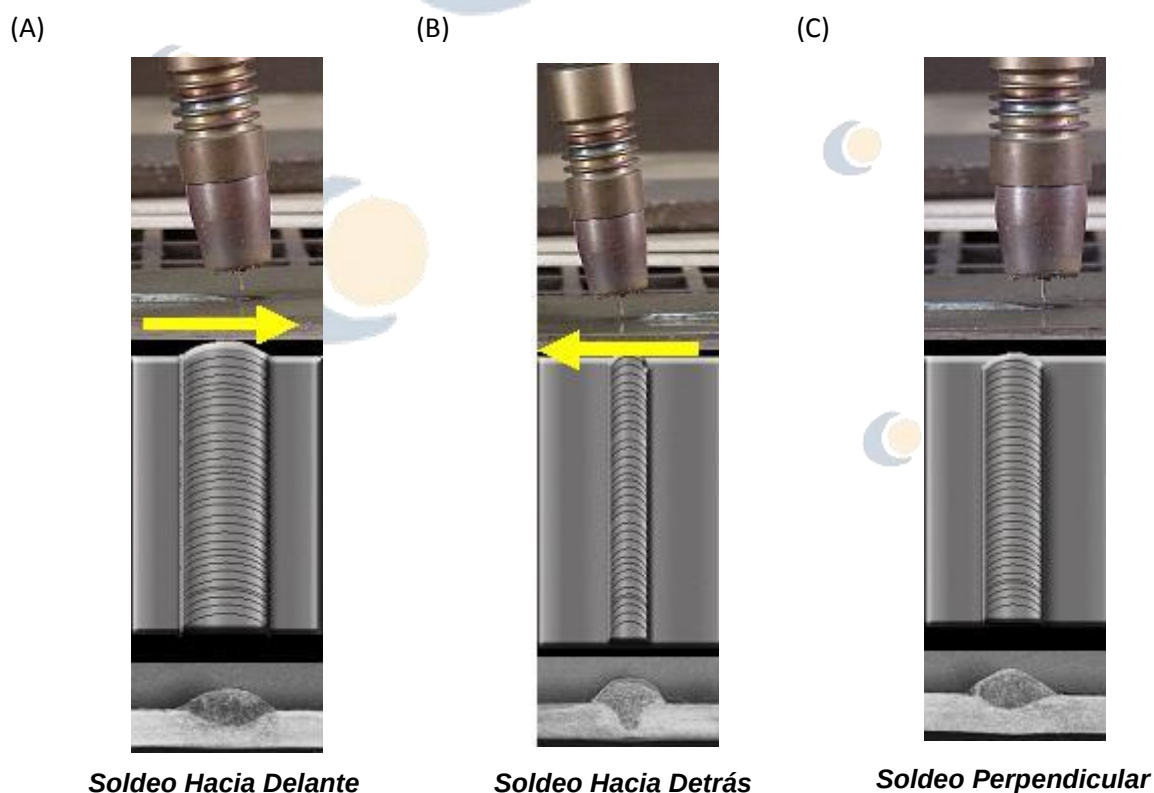


Figura 30. Efecto de la posición del electrodo sobre la penetración y el tipo de cordón: (A) soldeo hacia delante, (B) soldeo hacia detrás y (C) soldeo perpendicular

En la soldadura en ángulo en posición cornisa, el alambre debe posicionarse a 45° de la parte vertical (*figura 29B*).

4.8. Posición de Soldadura.

La mayor parte de las soldaduras realizadas con arco largo son hechas a tope en posición horizontal, mientras que puede utilizarse el arco corto y el arco pulsado para todas las posiciones. Las soldaduras en ángulo realizadas con arco largo en posición plana tienen mejor aspecto, pies iguales y con menos tendencia a dejar mordeduras que las soldaduras realizadas en posición cornisa.

Para la soldadura vertical y bajo techo se utiliza normalmente con arco corto o pulsado y con los más pequeños diámetros de alambre. El bajo input, permite enfriarse al baño rápidamente. Se suele utilizar la soldadura en posición vertical descendente para soldar espesores delgados.

Cuando la soldadura se realiza en posición horizontal, la inclinación del eje de la soldadura respecto al plano horizontal tendrá influencia en el tipo de cordón, penetración y velocidad de soldadura. En la soldadura circunferencial en posición plana, donde la pieza a soldar gira debajo de la pistola, se posiciona la pistola dejando una inclinación respecto del centro.

En la soldadura en vertical descendente (*figura 31A*), el baño tiende a fluir hacia el alambre y precalienta el metal base. Cuando el ángulo de inclinación se incrementa, la penetración disminuye y la anchura del cordón se incrementa.

En la soldadura vertical ascendente (*figura 31B*), la fuerza de la gravedad motiva que el baño de fusión fluya hacia atrás y se retrase del alambre. Los bordes de la soldadura pierden metal que se deposita en el centro. Cuando el ángulo de inclinación se incrementa, el refuerzo y la penetración se incrementa y la anchura de la soldadura disminuye. Los efectos son exactamente los opuestos a los producidos para vertical descendente. Cuando se emplean intensidades elevadas, el máximo ángulo utilizable decrece.

(A)



Vertical descendente

(B)



Vertical ascendente

Figura 31. Efecto de la posición de soldadura sobre el tipo de cordón

5. GASES DE PROTECCION

La función principal del gas de protección es desplazar el aire de la zona de soldadura para proteger al metal fundido, el baño de fusión y el electrodo, para evitar su contaminación.

Otras funciones del gas de protección son influir en:

- El tipo de transferencia de metal.
- La estabilidad del arco.
- La cantidad y en la calidad de los humos.
- Las propiedades mecánicas.
- La penetración y en el tipo y tamaño de cordón.
- La velocidad de soldadura
- Los costos de soldadura.
- La cantidad de energía que pasa a través del arco eléctrico.

5.1. Factores que afectan la elección del gas de protección adecuado.

En ocasiones, hay un factor que tiene una mayor importancia y por sí sólo determina el gas adecuado, en otras, es necesario hacer una evaluación de varios factores. Los fundamentales son:

- Tipo de proceso, manual o automático y tipo de transferencia.
- Material a soldar.
- Espesor del material.
- Posición de soldadura.
- Material de aportación.
- Propiedades mecánicas requeridas.
- Penetración.
- Velocidad de soldadura.
- Calidad exigida.
- Humos.
- Aspecto final.
- Costos.

Si bien los gases inertes puros protegen al metal depositado de las reacciones con el aire, no son adecuados para todas las aplicaciones de soldadura. Mezclando cantidades controladas de gases activos con los inertes, se obtienen simultáneamente un arco estable y una transferencia de metal sin salpicaduras. Son muy pocos los gases activos que han sido utilizados con éxito, solos o

combinados con gases inertes, en la soldadura. Entre ellos podemos citar al CO_2 , oxígeno, nitrógeno, e hidrógeno. La utilización de alguno de ellos, tal como el hidrógeno o nitrógeno, debe hacerse en algunas aplicaciones especializadas, en los casos en que su presencia no cause porosidad o fragilización del metal.

Como regla general, no es conveniente usar gases activos solos. El CO_2 es la notable excepción, puesto que es adecuado su uso sólo, mezclado con gases inertes o con oxígeno, para la soldadura de una variedad de aceros al carbono y de baja aleación. El resto de gases, con la excepción del nitrógeno, se emplea en forma de pequeñas adiciones a uno de los gases inertes (habitualmente el argón). El nitrógeno ha sido empleado solo o mezclado con argón para la soldadura de cobre. Su empleo es más extendido en Europa donde el helio es difícil de conseguir.

Se ha demostrado que la selección del gas de protección depende del tipo de metal a soldar, del espesor, proceso, requisitos de calidad y factores metalúrgicos, sin olvidar el costo. En general, en los metales no férricos se emplea argón, helio o mezclas argón-helio. En los materiales férricos se emplean adiciones de oxígeno o dióxido de carbono puro. En la *tabla 4* se indican algunas guías para la selección de los gases y en la *tabla 5* los acoplamientos o válvulas e identificación de colores para gases y mezclas (ITC MIE AP 7)/ UNE 1089.

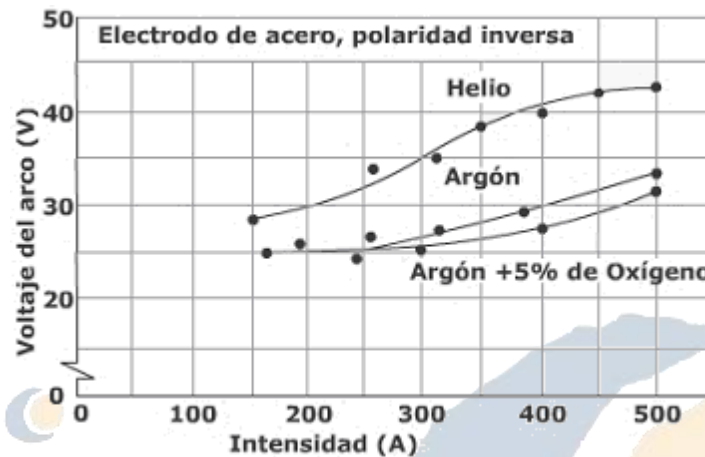
5.2. Argón, Helio y sus mezclas

Si bien los dos gases son igualmente inertes, difieren en otras propiedades. Estas diferencias están reflejadas en sus efectos sobre la transferencia del metal, penetración, tamaño de la soldadura, mordeduras y otras características de la soldadura, en función de todas las cuales se hará la selección del gas para obtener los efectos deseados.

El helio tiene una mayor conductividad térmica que el argón. Para una longitud de arco e intensidades dadas, el voltaje del arco es mayor con protección de helio que con argón debido a que el potencial de ionización del argón es menor que el de el helio (*figura 32A*). Por consiguiente, se produce más calor, para una corriente dada, con un arco en protección de helio que si es de argón. Esto hace que el helio sea preferible en la soldadura de espesores gruesos, especialmente si el metal a soldar es de alta conductividad, como en las aleaciones de cobre o aluminio. Obviamente, el argón será preferible al soldar bajos espesores o metales poco conductores.

La capacidad de protección del argón es mayor que la del helio puesto que, al ser el helio menos pesado que el aire, tiende a elevarse de forma turbulenta y dispersarse de la zona de soldadura. Esto hace que generalmente se requiera un mayor caudal de helio que de argón para un mismo nivel de protección.

(A)



(B)



Argón

(C)



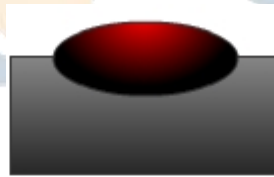
Helio

(D)



Argón

(E)



Helio

(F)



Helio/Argón

Figura 32. (A) Voltaje de arco con diferentes gases, efecto de los gases de protección (B) argón y (C) helio en el tipo de cordón en la soldadura de aluminio y penetración y contorno del cordón con (D) argón, (E) helio y (F) mezcla de argón y helio

Las soldaduras hechas con helio tienen generalmente un sobreespesor más ancho que las hechas con argón. Las soldaduras hechas con argón generalmente tienen una penetración mayor en el centro que en los bordes (figura 32D,E).

El helio se añade al argón a veces para incrementar la penetración, manteniendo las características de transferencia de metal del argón (figura 32F). Esto es debido a que las características de forma y penetración de los cordones dependen fuertemente de las características de transferencia del metal. La transferencia en arco largo tiende a producir penetración relativamente profunda a lo largo de la línea central de la soldadura y relativamente menor en los bordes, debido al efecto de chorro del plasma. La transferencia globular y en cortocircuito tiende a producir una penetración menos profunda pero más igualada. Como regla general, la transferencia con arco largo se obtiene más fácilmente en argón que en helio. En cualquier gas, la forma de la soldadura, observada en sección, varía con la polaridad del

electrodo. Las soldaduras hechas con polaridad inversa (electrodo al positivo) muestran formas más aceptables que las hechas con polaridad directa (electrodo negativo) como se puede apreciar en la *figura 33*.

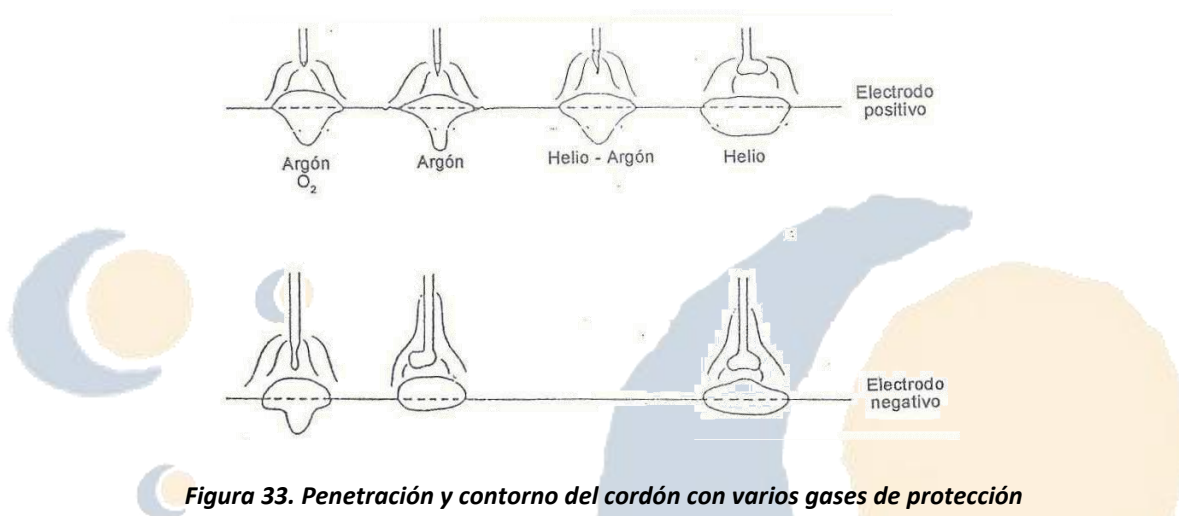


Figura 33. Penetración y contorno del cordón con varios gases de protección

Debido a las diferencias en la transferencia y a las propiedades físicas del helio y del argón, los gases tienen diferentes aplicaciones. El argón es preferible para la soldadura de las piezas de poco espesor y materiales de baja o moderada conductividad térmica. Por otra parte, el helio, debido al mayor poder calorífico de su arco, se prefiere generalmente para la soldadura de materiales de alta conductividad. En muchos casos, se puede tener las ventajas de ambos gases empleando mezclas de los dos.

Mezclas de 70-75 % Ar-25-30% He

Se utiliza para la soldadura de metales no férreos, donde se necesita un incremento del input térmico y cuando un buen aspecto del cordón es importante. Es una de las mezclas más utilizadas en la soldadura del aluminio.

Mezclas de 50 % Ar-50% He

Para aplicaciones automatizadas o con robot de metales no férreos en espesores inferiores a 15 mm.

Mezclas de 25-30% Ar-70-75% He

Para aplicaciones automatizadas o con robot de aluminio en espesores superiores a 15 mm en posición horizontal. Incrementa el input térmico y reduce la porosidad de las soldaduras de aleaciones de cobre.

5.3. Adiciones de Oxígeno y Dióxido de Carbono al Helio y Argón. Transferencia con arco-largo

En la soldadura de algunas aleaciones no férreas es preferible el uso de gases inertes puros, pero la soldadura de metales férreos, el uso de dichos gases no siempre proporciona las mejores

características operacionales. Cuando se utiliza argón puro, hay una tendencia a la expulsión del metal, a que no fluya bien en la línea de fusión o en la raíz de las soldaduras de acero al carbono y de la mayoría de los aceros de baja aleación. Además la transferencia de metal tiende a ser errática y formar escoria. El uso de helio o mezclas de argón y helio no llega a mejorar la situación ni en las aleaciones férreas y en las no férreas.

La adición de oxígeno o dióxido de carbono al argón estabiliza el arco, mejora la transferencia del metal. Al mismo tiempo, estas adiciones cambian la forma de la sección de la soldadura y mejora el mojado y el flujo del metal a lo largo de los bordes en aceros al carbono y de baja aleación, reduciéndose las mordeduras. Estas adiciones de oxígeno al argón o helio cuando se suelda con electrodo negativo tienen también consecuencias positivas, mejorándose la penetración y la forma de cordón depositado, acercándose a lo que se puede obtener cuando se suelda con electrodo positivo. La cantidad del oxígeno que hay que añadir en este último caso es relativamente elevada, y es del orden del 5%.

Soldando en condiciones más convencionales (CCPI–electrodo positivo), la cantidad de oxígeno o dióxido de carbono que hay que añadir para producir cambios notables en la estabilidad del arco son pequeñas: con un 0,5% es suficiente. Sin embargo, son más comunes adiciones entre el 1 y 5% de oxígeno y del 3 al 10% de dióxido de carbono. A veces se emplean estas adiciones también para la soldadura en arco corto o en corriente continua pulsada. Normalmente tales adiciones se hacen solo al argón para mejorar la transferencia axial en arco largo y el mojado.

La adición de oxígeno o dióxido de carbono a los gases inertes, hacen que el gas de protección sea más oxidante, lo cual puede causar porosidad en aleaciones férreas, salvo que se contrarreste este efecto mediante la adición de desoxidantes en el electrodo. Además puede causar pérdidas de ciertos elementos, tales como cromo, vanadio, aluminio, titanio, manganeso y silicio.

Mezclas de 95 % Ar–2% CO₂

Se utiliza en la soldadura de aceros inoxidables con todos los tipos de transferencia. La apariencia del cordón es más limpia que en la soldadura con Ar-CO₂

Mezclas de 95 % Ar–5% CO₂

Empleada para la soldadura con arco pulsado de diferentes espesores de aceros al carbono y de baja aleación y en todas las posiciones.

Produce una buena estabilidad del arco cuando se suelda sobre una superficie con ligero óxido y un baño de fusión más controlable que las mezclas de Ar/O₂

Mezclas de 92 % Ar–8% CO₂

Estas mezclas se comportan de modo similar a 95 % Ar–5% CO₂ pero incrementan el input térmico dando lugar a un baño de fusión más grande y fluido en arco corto, arco largo y arco pulsado.

Mezclas de 90 % Ar–15% CO₂

Estas mezclas se utilizan en un gran número de aplicaciones en la soldadura de aceros al carbono y de baja aleación. Se puede conseguir la máxima productividad en espesores delgados en la transferencia con arco corto. En comparación con el CO₂, en la soldadura de espesores delgados, se consigue disminuir la excesiva penetración del CO₂ que puede llegar a perforar, mientras se incrementa la velocidad de deposición y la velocidad de soldadura. En comparación con mezclas con mayor contenido en CO₂ como Ar-20 % CO₂ se puede incrementar la eficiencia de la deposición debido a la disminución de salpicaduras.

Con esta mezcla se puede conseguir la transferencia con arco largo, aunque este cerca del límite máximo considerado del 20 % de CO₂ para poder tener esta transferencia.

Mezcla de 99 % Ar–1% O₂

Principalmente empleadas para la soldadura por arco largo del acero inoxidable. El 1% de oxígeno es suficiente para estabilizar el arco, mejorar la velocidad de transferencia de las gotas y el aspecto del cordón.

Mezclas de 98 % Ar–2% O₂

Se emplean en la soldadura con arco largo de aceros al carbono, de baja aleación y aceros inoxidables. Se logra una mayor fluidez que con el 1 % de O₂. Las propiedades mecánicas y la resistencia a la corrosión de las soldaduras hechas con 1% y 2% son similares. Sin embargo, la apariencia del cordón de acero inoxidable será más oscura y más oxidada para el 2%.

Mezclas de 95 % Ar–5% O₂

Esta mezcla produce un baño de fusión más fluido. Es la mezcla de Ar-O₂ más empleada para la soldadura de aceros al carbono. Con ella se pueden conseguir las mayores velocidades de soldadura.

Mezclas de argón/Oxígeno/CO₂

Estas mezclas de tres componentes se utilizan para la soldadura de aceros al carbono y de baja aleación. Ofrecen la versatilidad necesaria para poder soldar con todos los tipos de transferencia, arco corto, arco largo, arco pulsado y alta densidad de energía.

Las composiciones más usuales son:

- 80 % Ar-15% O₂-5% CO₂
- 90 % Ar-8% O₂-2% CO₂
- 90 % Ar-5% O₂-5% CO₂
- 93 % Ar-5% O₂-2% CO₂
- 96 % Ar-3% O₂-1% CO₂

La mezcla más adecuada dependerá del tipo de transferencia y la posición de soldadura.

En la soldadura de espesores delgados, el contenido en oxígeno ayudará a la estabilidad del arco a bajas intensidades (30-60 A) con un arco corto de fácil control, con bajo input para tener baja tendencia a traspasar y con pocas deformaciones.

A intensidades elevadas en transferencia por arco largo, se obtienen velocidades de deposición y de soldadura más elevadas que con mezclas de Ar-CO₂

Mezclas de argón/Helio/CO₂

Las adiciones del helio y CO₂ al argón incrementan el input térmico y la fluidez y mojabilidad del baño.

Pueden emplearse en la soldadura de aceros al carbono, baja aleación, aceros inoxidables y aleaciones de níquel, pero debido al elevado costo del helio, tienen sus principales aplicaciones en la soldadura de acero inoxidable y de aleaciones de níquel.

Las composiciones más usuales para la soldadura de acero al carbono y baja aleación son:

- 72% Ar-20% He-8 %CO₂
- 66% Ar-26% He-8 %CO₂

Se utilizan para la soldadura con arco largo y con arco pulsado. Pueden emplearse para todos los espesores y en todas las posiciones. Aunque la limpieza es necesaria, estas mezclas permiten la soldadura sobre superficies con contenidos superiores de óxidos que las mezclas convencionales de dos componentes. Se puede controlar el baño con facilidad y se obtienen buenas propiedades mecánicas.

Las composiciones más usuales para la soldadura de aceros inoxidables son:

- 78% Ar-20% He-2 % CO₂
- 83% Ar-15% He-2 % CO₂
- 81% Ar-18% He-1 % CO₂
- 66% Ar-33% He-1 % CO₂

Se utilizan para transferencia con arco corto, largo y pulsado. En comparación con las mezclas de dos componentes se obtienen mayores velocidades de soldadura, cordones más anchos y planos, con buen color, baja porosidad y buena resistencia a la corrosión por la baja pérdida de elementos.

5.4. Adiciones de Oxígeno y Dióxido de Carbono al Helio y Argón.

Transferencia con arco corto

Los gases empleados para transferencia con arco corto son diferentes de los empleados para soldar con transferencia en arco largo. Por ejemplo, son comunes, las mezclas Argón–20 a 50%

dióxido de carbono en soldadura de aceros con transferencia en arco corto. Para la soldadura de metales no férricos se usa argón o mezclas argón-helio en tanto que para la soldadura de aleaciones férricas se emplean mezclas de gases inertes y activos, como Ar-CO₂

Los gases poliatómicos o de “alto voltaje” se emplean para aumentar el aporte térmico y mejorar el mojado. A veces el porcentaje de gas reactivo debe ser limitado para evitar las reacciones gas-metal que pueden ser perjudiciales desde el punto de vista metalúrgico. Por ejemplo, las mezclas argón- CO₂ funcionan bien en la soldadura de aceros inoxidables, sin embargo, si el contenido de CO₂ es elevado, aumentan el contenido en carbono del metal depositado y reducen la resistencia a la corrosión, especialmente en soldaduras multipasadas. Por consiguiente, se utilizan mezclas con contenidos limitados de CO₂ como Ar-2.5 % CO₂ ó 90 % He-7,5% Ar-2,5 CO₂. De forma similar, se emplea una mezcla 70% He 25-35% argón-4,5% CO₂ para la soldadura de aceros de baja aleación cuando es importante la resiliencia. Los caudales de gas requeridos para la soldadura en arco corto suelen ser inferiores a los necesarios para la soldadura en arco largo, debido a la menor corriente de soldadura y al menor tamaño del baño de fusión.

Mezclas de 80 % Ar-20% CO₂

Esta mezcla se utiliza para soldadura de aceros al carbono por arco corto y por el contenido de CO₂ está en el límite para poder soldar con arco largo. De hecho con muchos equipos de soldadura no es posible llegar a obtener un arco largo. Se utiliza para la soldadura con alambres flux cored de aceros al carbono y de aceros inoxidables (ver recomendaciones del fabricante del alambre).

Mezclas de 75 % Ar-25% CO₂

Es la mezcla típica para soldar aceros al carbono con arco corto con alambres de 1,0 y 1,2 mm de diámetro. No se puede obtener con ella un arco largo. Se utiliza para la soldadura con alambres flux cored de aceros al carbono y de aceros inoxidables (ver recomendaciones del fabricante del alambre).

5.5. Dióxido de carbono

El dióxido de carbono, junto con las mezclas argón-oxígeno, ha sido uno de los gases más empleados en la soldadura de los aceros, debido a sus buenas características en velocidad de soldadura, penetración y formación de depósitos sanos con buenas características mecánicas, junto a su bajo costo.

Con el uso de este gas no es posible conseguir una transferencia en arco largo con dirección axial. La transferencia puede ser con arco corto, globular o largo, pero con dirección no axial. El principal inconveniente es que se produce un arco con excesiva cantidad de salpicaduras, salvo que se utilice una longitud de arco muy corta y uniforme, manteniendo el extremo del electrodo por debajo de la superficie de trabajo. El ajuste adecuado de la inductancia también disminuye el nivel de salpicaduras.

El CO_2 es oxidante a las temperaturas del arco, por lo que para obtener soldaduras de calidad, el electrodo debe estar diseñado adecuadamente para su uso con este gas, conteniendo una cantidad adecuada de desoxidantes. Sin embargo, cuando el contenido en carbono de acero es inferior al 0,07%, el metal depositado eleva su contenido en carbono. Desde el punto de vista de las pérdidas de silicio y manganeso, la protección con CO_2 puede considerarse equivalente al uso de un gas inerte con la adición del 10% de oxígeno. Como resultado, la superficie de las soldaduras quedan oxidadas, pese a lo cual, la porosidad no es problema si se emplea un alambre con los contenidos adecuados de desoxidantes y si se emplea un arco razonablemente corto. En todo caso, cuando son importantes las propiedades de resiliencia, deben emplearse las mezclas con base de gases inertes.

5.6. Mezclas de argón/ CO_2 / H_2 y argón/Helio/ CO_2 /Hidrógeno

Estas mezclas con adiciones de hidrogeno del 1 %, se utilizan en la soldadura de acero inoxidable austenítico donde la presencia de hidrogeno no presenta problemas de fisuración y sí añade un efecto reductor que ayuda a obtener cordones con una superficie con muy buen aspecto.

En la soldadura de espesores delgados, el contenido en oxígeno ayudará a la estabilidad del arco a bajas intensidades (30-60 A) con un arco corto de fácil control, con bajo input para tener baja tendencia a traspasar y con pocas deformaciones.

A intensidades elevadas en transferencia por arco largo, se obtienen velocidades de deposición y de soldadura más elevadas que con mezclas de Ar- CO_2 .

5.7. Mezclas de argón/ CO_2 / N_2

El nitrógeno se añade a la mezcla argón/ CO_2 con el objetivo de estabilizar la austerita en la soldadura de los aceros inoxidables austeno-ferríticos.

Tabla 4. Guía de selección de gases por procedimiento MIG/MAG

Metal	Gas de protección	UNE-EN ISO 14175	Características
Acero al Carbono y Baja Aleación	Ar-8%CO ₂ Ar-15% CO ₂	M20 M20	Las mezclas con Ar-CO ₂ permiten tener un bajo nivel de proyecciones y un buen control del arco para evitar el perforar. Con la misma intensidad, cuanto mayor sea el contenido de CO ₂ , mayor será la penetración. Sueldan bien con arco corto en todas las posiciones, para la soldadura con largo y pulsado, se deben emplear mezclas con contenidos máximos de CO ₂ del 15%.
	Ar-8% CO ₂ -2% O ₂ Ar-5% CO ₂ -5% O ₂	M24 M23	Las mezclas con (Ar- CO ₂ -O ₂) por su contenido en O ₂ , incrementan la fluidez del baño de fusión en comparación con las mezclas de Ar-CO ₂ y mantienen un bajo nivel de proyecciones.
	Ar-5% O ₂	M22	Con esta mezcla de Ar- O ₂ , se pueden conseguir mayores velocidades de soldadura que con las mezclas de Ar-CO ₂ . Esta mezcla junto con Ar-5%CO ₂ son las más adecuadas para soldar con transferencia con largo y rotacional en espesores gruesos.
	Ar-20%CO ₂ Ar-25%CO ₂	M21	Se deben emplear estas mezclas cuando se suelde con alambre macizo y se necesite una mayor penetración. Pueden utilizarse para la soldadura con alambres metalcored, pero hay que tener en cuenta la información del fabricante del hilo.
	CO ₂	C1	Soldar con CO ₂ puede ser aconsejable cuando se necesite una mayor penetración y se puedan controlar la formación de las proyecciones y humos, o no sean un problema para aplicación. Puede utilizarse para la soldadura con alambres metalcored, pero hay que tener en cuenta la información del fabricante del hilo.
Aceros Inoxidables	Ar-1% O ₂ Ar-2% O ₂	M13 M13	Mezclas de Ar-O ₂ , se emplean con aleaciones donde sea necesario mantener un bajo contenido en carbono, mejorar la fluidez del baño de fusión y disminuir las mordeduras.
	Ar-2% CO ₂	M12	Es la mezcla más empleada, con un contenido de CO ₂ del 2% para evitar la excesiva toma de carbono y poder soldar los aceros inoxidables con bajo contenidos en carbono
	Ar-2% CO ₂ -2%N ₂	Z	Es apropiada para soldar los aceros inoxidables austeníticos y también los aceros inoxidables austeno-ferríticos (dúplex), por el contenido en nitrógeno para estabilizar la austenita.
	Ar-2% CO ₂ -2%H ₂	M11	Proporciona un buen aspecto del cordón por el contenido de hidrógeno. Por este solo se debe emplea en la soldadura de los aceros inoxidables austeníticos. Esta mezcla mejora el aspecto de cordón en relación con las mezclas de Ar-CO ₂ .
	Ar-He- CO ₂	M12	Estas mezclas dependiendo de su contenido de helio, aportan una mayor penetración y una mayor fluidez al baño.
	Ar-He- CO ₂ - H ₂	M11	Combina las ventajas que aportan el hidrógeno y el helio obteniéndose cordones de excelente aspecto. Por el contenido en hidrógeno, solo es apropiado para la soldadura de los aceros inoxidables austeníticos.
	Ar-20% CO ₂ Ar-25% CO ₂	M21 M21	Pueden utilizarse para la soldadura con alambres metalcored de acero inoxidable, pero hay que tener en cuenta la información del fabricante del hilo.
	CO ₂	C1	Este gas no se debe emplear en la soldadura con alambres de acero inoxidable macizos, pero puede utilizarse con alambres metalcored, teniendo en cuenta la información del fabricante del hilo.
Aluminio y aleaciones	Ar (99,998%)	I1	Pureza necesaria para obtener cordones de calidad. Solo en los casos donde la una elevada calidad no es necesaria, se puede emplear una pureza inferior como Ar (99,996%).
	Ar-30/50/70%He	I3	Dependiendo de su contenido en helio, 30, 50, 70 %, proporcionan un input térmico mayor y un baño de fusión más fluido, una velocidad de soldadura y penetración más elevada y disminuyen o eliminan el precalentamiento y la porosidad. En la soldadura con robot y automatismos, permiten incrementar la velocidad de soldadura.
Cobre, Níquel y aleaciones.	Ar (99,998%) Ar (99,996%)	I1	Apropiados para espesores delgados. Emplear Ar (99,998%) cuando se necesite disminuir la porosidad.
	Ar-30/50/70%He	I3	Dependiendo de su contenido en helio, 30, 50, 70 %, proporcionan un input térmico mayor y un baño de fusión más fluido, una velocidad de soldadura y penetración más elevada y disminuyen o eliminan el precalentamiento y la porosidad. En la soldadura con robot y automatismos, permiten incrementar la velocidad de soldadura.

Tabla 5. Acoplamientos o Válvulas e identificación de colores para gases y mezclas (ITC MIE AP 7)/UNE 1089-3)

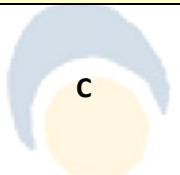
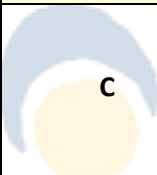
Componentes de Gas o mezcla	RAP ITC MIE AP 7					UNE 1089-3	
	Acoplamiento o Válvula		Colores antiguos			Colores actuales	
	Tipo	Racor macho	Cuerpo	Ojiva			
Argón	 C	M 21,7x1,814 Derecha	Negro	Amarillo		Verde oscuro	
Helio	C	M 21,7x1,814 Derecha	Negro	Marrón		Marrón	
Anhídrido carbónico (CO ₂)	C	M 21,7x1,814 Derecha	Negro	Gris		Gris	
Argón-helio	C	M 21,7x1,814 Derecha	Negro	Amarillo-marrón		Verde	
Argón-CO ₂	C	M 21,7x1,814 Derecha	Negro	Amarillo-gris		Verde	

Tabla 5. Acoplamientos o Válvulas e identificación de colores para gases y mezclas (ITC MIE AP 7)/UNE 1089-3). (Continuación)

Componentes de Gas o mezcla	RAP ITC MIE AP 7					UNE 1089-3	
	Acoplamiento o Válvula		Colores antiguos			Colores actuales Tipo	
	Tipo	Racor macho	Cuerpo	Ojiva			
Argón-oxígeno		M 21,7x1,814 Derecha	Negro	Amarillo- blanco		Verde	
Argón- CO ₂ -oxígeno	C	M 21,7x1,814 Derecha	Negro	Amarillo- gris-blanco		Verde	
Argón- CO ₂ -nitrógeno	C	M 21,7x1,814 Derecha	Negro	Amarillo- gris-negro		Verde	
Argón- CO ₂ -hidrógeno (H ₂ <=1%)	C	M 21,7x1,814 Izquierda	Negro	Amarillo- gris-rojo		Verde	
Argón-Helio-CO ₂ -hidrógeno (H ₂ <=1%)	C	M 21,7x1,814 Izquierda	Negro	Amarillo- marrón- gris-rojo		Verde	

6. CONSUMIBLES

La selección del consumible apropiado para una aplicación debe tener como objetivo producir un metal soldado con dos características básicas:

- Tener las propiedades mecánicas y físicas iguales o superiores a las del metal base
- Obtener un metal soldado de calidad. Esto se conseguirá con un alambre adecuado. Por ejemplo con la cantidad de desoxidantes necesarios para dejar un metal soldado libre de defectos.

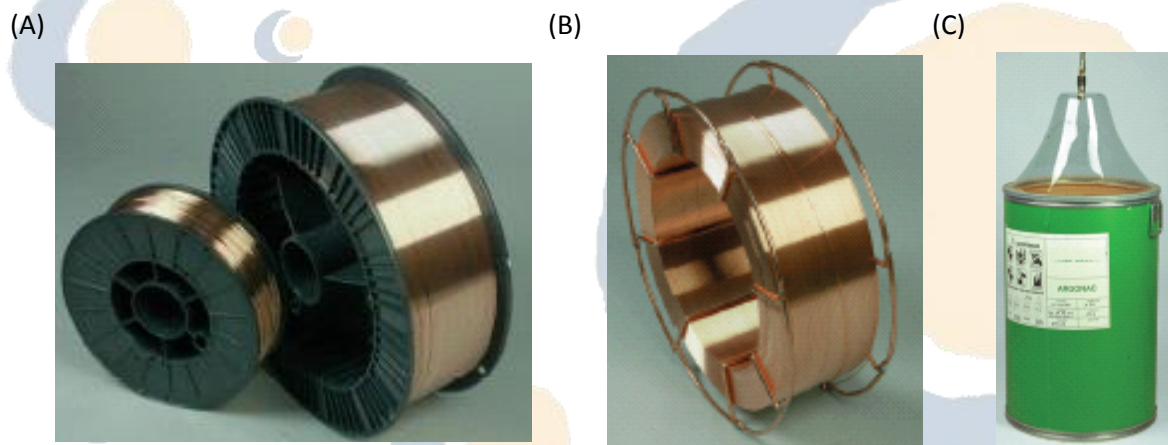


Figura 34. Diferentes formas de suministro de alambre: (A) bobinas de plástico, (B) metálicas y (C) bidones

Los alambres empleados son de pequeños diámetros (0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,6; 2,0; 3,0 y 3,2 mm) y se suministran en bobinas metálicas o de plástico de 5 a 15 Kg o en bidones con 250 Kg (*figura 34A* y *figura 34B*), especiales para soldadura en automatismos o en robot, para colocar en los sistemas de alimentación. Es importante considerar que el tensionado del alambre debe ser diferente, dependiendo si la aplicación es manual o automática (ver para aceros al carbono AWS A 5.18). Dados sus pequeños diámetros, la relación superficie/volumen es muy alta, por lo que pequeñas capas de polvo, suciedad, grasas, etc. pueden suponer una importante cantidad en relación con el volumen aportado, de aquí que sea de gran importancia la limpieza. Los alambres de acero al carbono y de baja aleación, reciben a menudo un ligero recubrimiento de cobre que mejora el contacto eléctrico, la resistencia a la corrosión y disminuye el rozamiento con los distintos elementos del sistema de alimentación al soplete.

El material de aporte es similar o idéntico en composición a los empleados en los otros procesos de soldadura en que se emplean electrodos desnudos. Esto supone que la variación con respecto a la composición del metal base que va a ser soldado será pequeña. En otros casos, la obtención de buenas soldaduras y depósitos, requiere cambios apreciables o incluso la utilización de alambre de composición completamente diferente. Por ejemplo, los electrodos más adecuados para la soldadura de bronce al manganeso, que es una aleación cobre-zinc, son de bronce al aluminio o de aleaciones cobre-manganeso-níquel-aluminio. En la soldadura entre

sí de metales diferentes, también se seleccionará un metal de aportación diferente a la de los metales a unir. Algo similar ocurre en la soldadura de las aleaciones de aluminio o de acero de mayores características mecánicas. Esto es debido a que algunas aleaciones son adecuadas como metales base, pero no como metal de aporte.

Una de las modificaciones que con más frecuencia se hacen en los electrodos para la soldadura con esta técnica es la adición de desoxidantes, y otros agentes, con la finalidad de evitar la porosidad o la bajada en características mecánicas que pueden producirse como consecuencia de la reacción del metal de soldadura con el CO_2 , oxígeno, el nitrógeno o el hidrógeno, que pueden estar en el gas de protección o pueden entrar accidentalmente en contacto, provenientes de la atmósfera circundante. Los desoxidantes empleados con mayor frecuencia en los electrodos de acero al carbono son el manganeso, silicio y aluminio. En las aleaciones de níquel se emplea el titanio y silicio. En las aleaciones de cobre, dependiendo del tipo de resultados deseados se emplea el titanio, silicio o fósforo. La selección de electrodos en función del metal base de una forma más concreta será abordada cuando se estudie la soldabilidad de las diferentes aleaciones.

6.1. Soldadura con alambres tubular sin flux interior (“Metal Cored”)

Se considera una variación del MIG (GMAW). Con un alambre “metal cored” se trabaja de modo similar a uno macizo, generalmente produce menos humos, no deja escoria y tiene una eficiencia de deposición del orden al 95 % y superior.

Un alambre metal cored está formado por un tubo metálico lleno con elementos aleantes en forma de polvo, estabilizadores del arco y elementos desoxidantes. Puede conseguirse con ellos una elevada velocidad de deposición con una elevada eficiencia y puede utilizarse en todas las posiciones. También pueden emplearse donde las preparaciones no son las más óptimas.

Están diseñados para poder soldar sobre superficies con alguna suciedad y óxido utilizando como gas de protección mezclas de argón.

Tienen un mayor contenido de desoxidantes con el que se obtienen cordones de calidad con un excelente control del baño. Este tipo de alambres combinan la elevada velocidad de deposición de los alambres flux cored con una eficiencia de deposición y nivel de humos de los alambres macizos. Las propiedades mecánicas son comparables a las de los alambres macizos del acero al carbono y también como estos tienen un bajo contenido de escorias.

Los gases de protección más empleados con estos alambres son Ar/ 8-20 % de CO_2 para acero al carbono y Ar/1-2 % O_2 o Ar/2-10 % CO_2 para los aceros inoxidables

Las ventajas de los alambres metal cored son:

- Elevada velocidad de deposición
- Elevada eficiencia de deposición (95 % o superior)

- Soldadura de calidad sobre ligera suciedad y óxido.
- Bajo nivel de salpicaduras.
- Poca escoria.
- Buena soldabilidad.
- Soldadura en todas las posiciones
- Bajo nivel de humos.
- Facilita la soldadura en preparaciones que no son las más óptimas.

No existen comercialmente alambres macizos y metal cored para todas las aleaciones, pero como ejemplo en la *tabla 6*, están algunas de las más empleadas.

Tabla 6. Alambres macizos y metal cored más utilizados para soldadura MIG/MAG (131, 133, 135, 138 según UNE-DIN EN ISO)

Tipo de alambre	Denominación según norma	
	ACEROS AL CARBONO	
	UNE-DIN EN ISO 14341 A	AWS A 5.18/A 5.18M
Alambre macizo	G 42 4 M G3Si1	ER 70S-6
Alambre macizo	G 42 3 C G3Si1	ER 70S-6
Alambre macizo	G 46 4 C G3Si1	ER 70S-6
Alambre macizo	G 46 3 C G3Si1	ER 70S-6
	UNE-DIN EN ISO 17632 A	AWS A 5.18/A 5.18M
Alambre tubular metal cored	T46 2 MM 1 H5	E 70C 3M H4
Alambre tubular metal cored	T 42 2 MM 1 H5	E 70C 3M H8
Alambre tubular metal cored	T 46 4 MM 1 H5	E 70C 6M H4
	ACEROS BAJA ALEACIÓN	
	UNE-DIN EN ISO 16834 A	AWS A 5.28/A 5.28M
Alambre macizo	G 62 4 M Mn3NiMo	ER 100S-G
	UNE-DIN EN ISO 18276 A	AWS/ASME II PARTE C SFA 5.28/SFA 5.28M
Alambre tubular metal cored	T 55 5Z MM 1 H5	E 110C K4 H4
Alambre tubular metal cored	T 69 4 Mn2nIcRmO MM H5	E 90C GH4
	ACEROS CROMO-MOLIBDENO	
	UNE-DIN EN ISO 21952-A	AWS A 5.28/A 5.28M
Alambre macizo	G CrMo1 Si	ER 80S-G
Alambre macizo	G CrMo2 Si	ER 90S-G
	ACEROS INOXIDABLES	
	UNE-DIN EN ISO 14343 A	AWS A 5.9/A 5.9M
Alambre macizo	G 19 9L	ER 308L
Alambre macizo	G 19 9 LSi	ER 308L Si

Tabla 6. Alambres macizos y metal cored más utilizados para soldadura MIG/MAG (131, 133, 135, 138 según UNE-DIN EN ISO). (Continuación)

Tipo de alambre	Denominación según norma	
	ALUMINIO	
	UNE-DIN EN ISO 18273	AWS A 5.10/A 5.10M
Alambre macizo	S Al 5356	ER 5356
Alambre macizo	S Al 4043	ER 4043
	BASE NIQUEL	
	UNE-DIN EN ISO 18274	AWS A 5.14/A 5.14M
Alambre macizo	S Ni 6082 (NiCr20Mn3Nb)	ER NiCr3

6.2. Designación de acuerdo con AWS Y UNE-EN.

La figura 35, figura 36, figura 37, figura 38 y figura 39 muestran un resumen de las especificaciones de AWS y UNE-EN. En caso de duda, debe consultarse la especificación completa.

6.2.1. AWS A 5.18–Alambres macizos de acero al carbono.

		X=	C	Mn	Si	P	S	Otros
		2	0.07	0.9-1.4	0,4-0.7	0,025	0.035	Ti, Zr, Al
		3	0.06-0.15	0.9-1.4	0,4-0.7	0,025	0.035	
		4	0.07-0.15	1.0-1.5	0,65-0.85	0,025	0.035	
		5	0.07-0.19	0.9-1.4	0,3-0.6	0,025	0.035	Al
		6	0.07-0.15	1.4-1.8	0,8-1.15	0,025	0.035	
		7	0.07-0.15	1.5-2.0	0,5-0.8	0,025	0.035	

Figura 35. AWS A 5.18–Designación de alambres macizos de acero al carbono

6.2.2. AWS A5.18–Alambres tubulares “Metal Cored” de acero al carbono.

Aunque los alambres “Metal Cored”, se comportan de forma parecida a los alambres macizos y por tanto han sido incluidos dentro de su misma AWS A5.18, sin embargo, ellos siguen una forma de clasificación parecida a la de los alambres “Flux Cored”

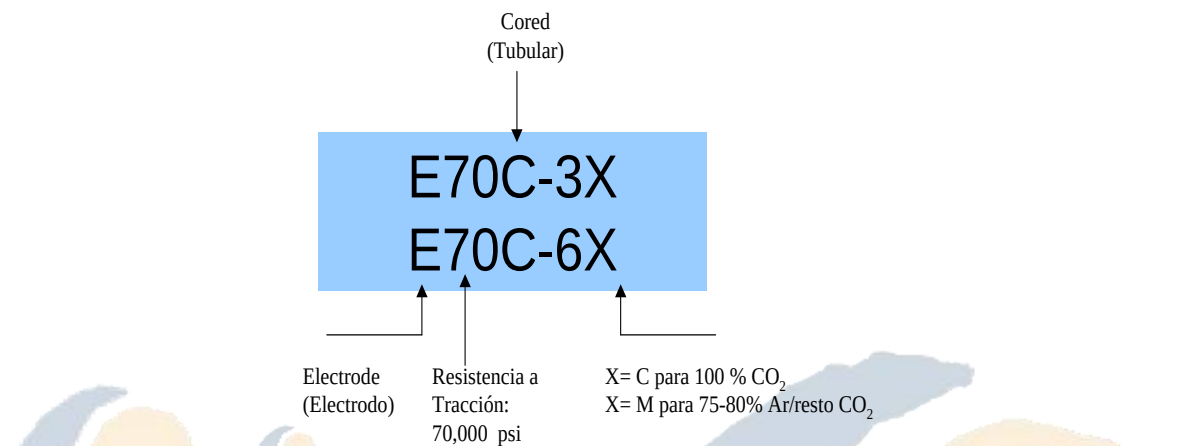


Figura 36. AWS A 5.18–Designación de alambres metal cored de acero al carbono

6.2.3. AWS A5.9–Alambres macizos de acero inoxidable.

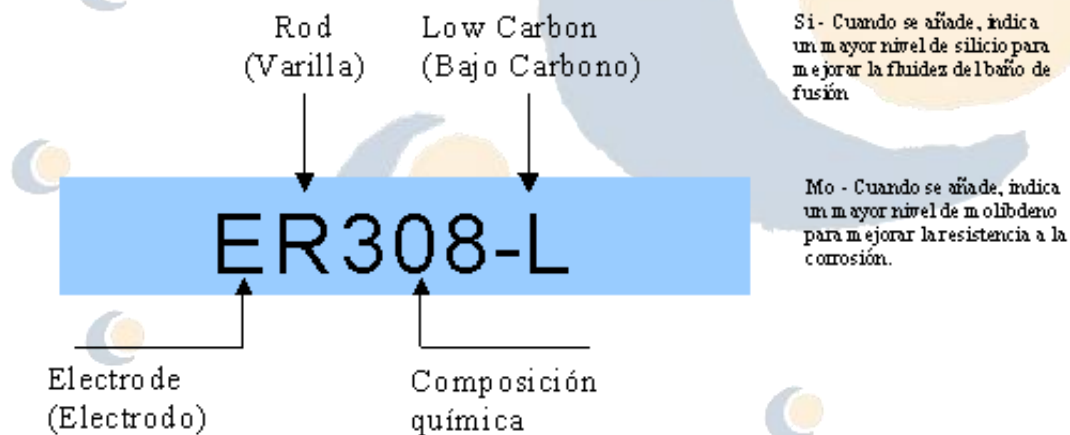


Figura 37. AWS A 5.9–Designación de alambres macizos de acero inoxidable

6.2.4. AWS A5.10–Alambres de aluminio

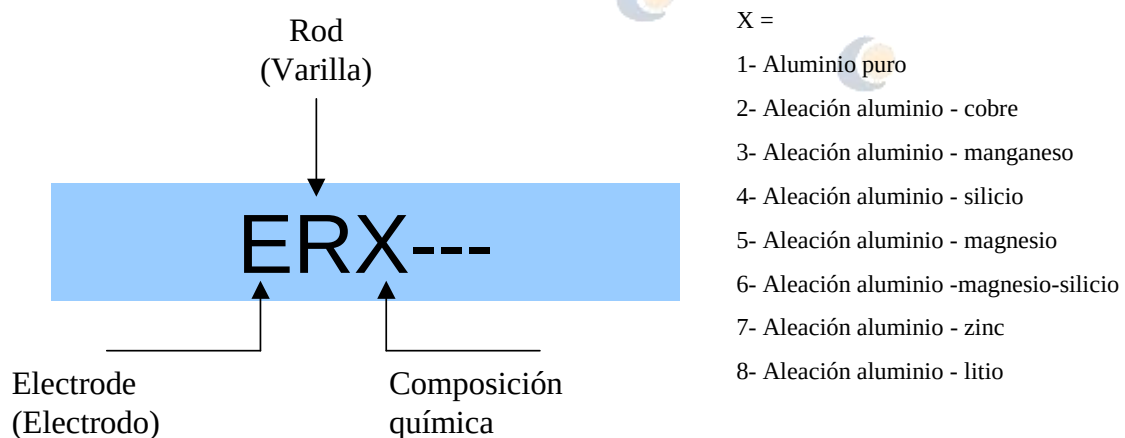


Figura 38. AWS A 5.10–Designación de alambres de aluminio

6.2.5. UNE–EN ISO 14341–Alambres de aceros no aleados y aceros de grano fino.

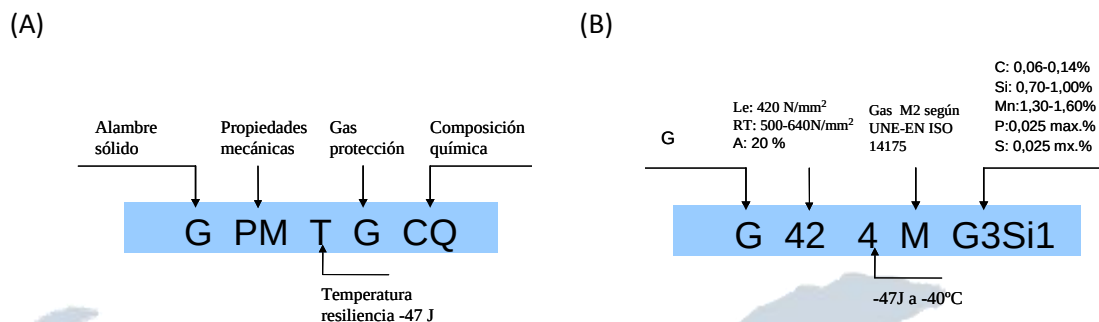


Figura 39. UNE–EN ISO 14341–Designación de alambres de aceros no aleados y de grano fino

7. DISEÑO DE LA UNIÓN

La técnica de soldadura aquí estudiada es aplicable a todos los tipos de juntas (a tope, solape, en T, en esquina y de borde), y a la mayoría de las modificaciones de estos tipos básicos.

Las reglas del diseño de juntas, para la soldadura con arco metálico y protección de gas no son necesariamente distintas de las que hay que emplear en otras técnicas de soldadura, como son el arco sumergido o el electrodo revestido. Únicamente hay que tener en cuenta alguna particularidad, puesto que por otra parte, los requisitos que en ocasiones se imponen para otras técnicas en cuanto a ángulos o separaciones de raíz amplios, no son necesarios en la soldadura MIG/MAG, dado que en esta técnica no debe tenerse en la misma precaución para evitar dejar escorias atrapadas. Así, la característica del poder de penetración que tiene esta técnica permite que en ocasiones se ahorre en la cantidad de metal depositado y por tanto en los costos, haciendo las juntas más cerradas. En este caso hay que tener presente que puede darse la circunstancia de que la junta sea más profunda que la extensión del electrodo, en cuyo caso debe aumentarse el ángulo del bisel, o emplear una junta en J, para permitir el acceso de la boquilla de gas. En otro caso podría darse una falta de efectividad de la protección gaseosa y también falta de penetración en la raíz. La falta de protección gaseosa puede dar lugar a oxidación superficial de la soldadura, salpicaduras abundantes y porosidad.

8. APLICACIONES

8.1. Ventajas e inconvenientes

La principal ventaja del MIG/MAG sobre la soldadura con electrodo revestido, que es la técnica con la que compite de forma más cercana, es la mayor velocidad, dada principalmente por:

- Alimentación continua de electrodo, por lo que no se pierde tiempo en el cambio de electrodo.
- Ausencia de escoria, que por tanto no hay que eliminar entre pasadas.
- Velocidad de deposición mayor, por utilizar mayores densidades de corriente.

El uso de esta técnica de soldadura produce depósitos con bajo contenido en hidrógeno. La capacidad para producir soldaduras con buena penetración permite la construcción con soldaduras en ángulo menores. Además es capaz de soldar correctamente menores espesores, si bien en este caso puede ser superada por el TIG.

Las desventajas, en comparación con la técnica de electrodo revestido son:

- El equipo es más complejo y por tanto más caro y difícil de trasladar.
- La pistola debe estar cerca del equipo, lo que hace difícil la soldadura en zonas de mal acceso.
- Al no haber escoria, las soldaduras se enfrían más rápidamente, lo cual puede producir agrietamiento en ciertos aceros.
- No se puede soldar en presencia de corrientes de aire que puedan arrastrar al gas de protección, lo cual hace que sea problemático su empleo en intemperie.

8.2. Metales que pueden ser soldados

La soldadura MIG/MAG fue aplicada en un principio a la soldadura de aleaciones de magnesio y aluminio, así como a los aceros inoxidables. Sin embargo, la naturaleza del proceso permite su uso en la mayoría de los metales y aleaciones.

Los metales que son soldados más fácilmente con esta técnica, son los aceros al carbono y de baja aleación, los aceros inoxidables, las aleaciones para altas temperaturas (base níquel), el aluminio y sus aleaciones de las series 3000, 5000 y 6000, el cobre y sus aleaciones excepto las que contiene zinc, y las aleaciones de magnesio.

Los metales que pueden ser soldados pero que requieren la aplicación de procedimientos especiales son los aceros de elevada resistencia, las aleaciones de aluminio de las series 2000 y 7000, las aleaciones de cobre que contienen altos porcentajes de cinc, la fundición de hierro, el acero austenítico al manganeso, el titanio y sus aleaciones y los metales refractarios. Estas soldaduras pueden requerir el empleo de precalentamiento o tratamiento térmico, uso de materiales de aporte especiales, cuidado especial del gas, y aplicación de gas en la parte posterior de la soldadura.

En general, no son soldables los metales de bajo punto de fusión, cosa que sucede para cualquier proceso de soldadura por arco. El plomo, estaño y zinc son materiales típicos de este grupo.

Con la mayor utilización de aceros galvanizados en la industria del automóvil, para garantizar la carrocería durante más tiempo, se ha desarrollado en los últimos años la llamada soldadura MIG–Brazing, donde se utilizan alambres de cobre o de cobre silicio (CuSi 3). Con el proceso MIG se alimenta y se funde el consumible, que se deposita sobre el metal a soldar, sin llegar a fundirlo y dañando lo menos posible la capa de galvanizado, mediante la técnica de brazing (*figura 40*). En los últimos equipos MIG, se han incorporado programas específicos para esta aplicación.



Figura 40. Soldadura MIG brazing de acero galvanizado con alambre tipo CuSi 3.

8.3. Espesores a soldar

La soldadura MIG/MAG puede emplearse satisfactoriamente en un ancho rango de espesores de metal base. Puede soldarse chapa de un espesor tan bajo como 0,5 mm. Si bien no hay establecido un espesor máximo, en soldaduras de metal base de espesor mayor que 15-20 mm, hay otros procesos de soldadura (como el arco sumergido), que resultan ser más económicos a igualdad de calidad.

8.4. Posición de soldadura

Habida cuenta de las diferentes técnicas o modos de transferencia en que es posible utilizar la soldadura MIG/MAG, esta técnica es considerada generalmente como la más versátil de todos los procesos de soldadura en lo que se refiere a las posiciones en que puede usarse. Como en otros procesos de soldadura, la soldadura es más eficiente en posición horizontal plana, pero puede usarse en otras posiciones, al menos tanto como la soldadura por electrodo revestido. Esto es así, especialmente tras el desarrollo de la técnica de soldadura por arco pulsado, puesto que la soldadura en arco largo en posición puede ser imposible, dado el tamaño relativamente grande del baño fundido, en base a las elevadas densidades de corriente precisas para mantener el arco largo. Sin embargo, la rebaja de aporte térmico que supone el arco pulsado permite la soldadura con menores baños fundidos y por tanto la soldadura por arco largo en posición.

9. DEFECTOS

9.1. Introducción

Como en la mayoría de los procesos de soldadura por fusión, la causa principal del origen de los defectos en la soldadura GMAW (MIG/MAG) es una inadecuada:

- Preparación, disposición o limpieza de las piezas a unir.
- Ejecución de la soldadura
- Soldabilidad del metal base
- Elección de los consumibles (gases, metal de aporte.....)

La norma ISO 6520 clasifica los defectos producidos por la soldadura por fusión en los siguientes grupos:

1. Grietas o fisuras
2. Sopladuras y poros
3. Inclusiones sólidas, (escoria, óxidos, inclusiones de tungsteno, cobre.)
4. Falta de fusión
5. Imperfecciones de forma y dimensión. (mordedura, solapamiento, sobreespesor excesivo, exceso de penetración, ángulo de sobreespesor incorrecto, falta de alineación o deformación angular, falta de metal de soldadura, perforación, rechupe, exceso de asimetría en la soldadura en ángulo, anchura irregular y superficie irregular, empalme defectuoso)
6. Otras imperfecciones. (Cebado del arco, salpicaduras o proyecciones, desgarre local, marca de amolado o de burilado, amolado excesivo)

Las dimensiones máximas aceptables de las imperfecciones están recogidas en las normas UNE-EN ISO 5817, en el caso de los aceros, y en la UNE-EN ISO 10042 en el caso del aluminio y sus aleaciones soldables. Estas normas establecen tres niveles de calidad, de moderado a elevado, de forma que cuanto mayor sea el nivel de calidad, las imperfecciones admitidas serán de menores dimensiones. Los niveles de calidad en cada caso, deberán ser definidos por la norma de aplicación (norma de diseño) o por la persona responsable junto con el fabricante, usuario o cualquier otra persona involucrada. El nivel de calidad debe ser especificado antes del comienzo de la producción, preferentemente en el momento de la solicitud o presentación de la oferta. En casos particulares, puede ser necesario incluir detalles adicionales.

En el caso de los aceros, los niveles de calidad establecidos por esta norma UNE-EN ISO 5817 son datos de referencia básicos y no específicamente relacionados con una aplicación particular. Se refieren a los tipos de uniones soldadas y no al producto completo o componente. Por lo tanto,

es posible que se apliquen diferentes niveles de calidad a las distintas soldaduras en un mismo producto o componente. En la *tabla 7* se indican los niveles de calidad.

Tabla 7. Niveles de calidad para las imperfecciones de las soldaduras

Símbolo del nivel	Nivel de calidad
D	Moderado
C	Intermedio
B	Elevado

Los tres niveles de calidad se identifican arbitrariamente como D, C y B e intentan cubrir la mayoría de las aplicaciones prácticas.

Sería deseable que, para una determinada unión soldada, todos los límites dimensionales de las imperfecciones puedan quedar cubiertos especificando un nivel de calidad. Sin embargo, en algunos casos, como por ejemplo en ciertos tipos de aceros y estructuras, así como bajo cargas de fatiga o aplicación que requieran calidad, puede ser necesario especificar diferentes niveles de calidad para las distintas imperfecciones en la misma unión soldada o bien añadirse requisitos adicionales.

La elección de un nivel de calidad para cualquier aplicación debe tener en cuenta consideraciones tales como diseño, procesos subsecuentes (por ejemplo, recargas), estado tensional (por ejemplo, estático, dinámico), condiciones de servicio (por ejemplo, temperatura, ambiente) y consecuencias del fallo. Los factores económicos son también importantes y deben incluir no solo el coste del soldeo sino también los de inspección, ensayos y reparaciones.

Tabla 8. Defectos en uniones soldadas

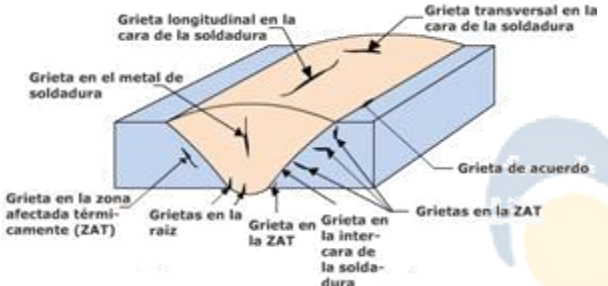
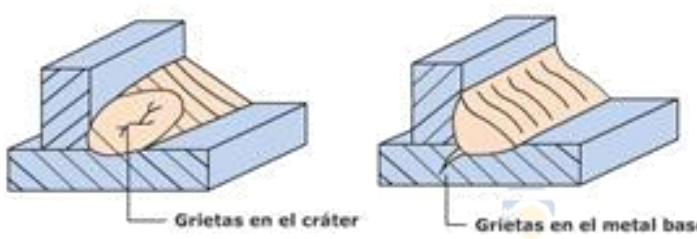
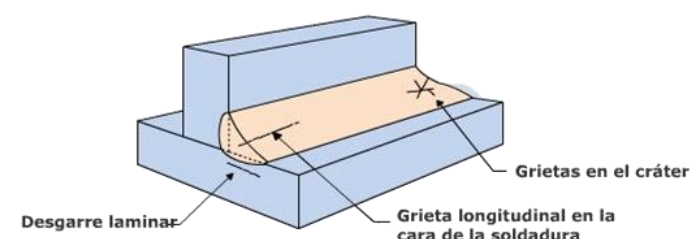
Grietas	Explicación	Localización	Causas
	Discontinuidad producida por una rotura local, que puede ser provocada por el efecto del enfriamiento o tensiones.	Metal base.	Soldar con excesiva intensidad.
		Zona afectada térmicamente.	Enfriamiento rápido de la soldadura.
		Zona de unión entre ZAT y cordón de soldadura.	Soldar con un embridamiento excesivo.
		Cordón de soldadura	Existir tensiones residuales en el metal base debidas a los procesos previos de fabricación.
		Cráter de la soldadura.	Mala secuencia de soldeo que provoque excesivas tensiones y deformaciones.
			Inadecuado e insuficiente material de aportación.
			Metal base de mala soldabilidad.
			Finalizar el cordón de soldadura retirando el electrodo de forma rápida y brusca (grietas de cráter).
			Forma de cordón inadecuado. Un cordón convexo puede incrementar las tensiones en los “pies” de la soldadura. Un cordón cóncavo puede que no tenga la garganta efectiva requerida.

Tabla 8. Defectos en uniones soldadas. (Continuación)

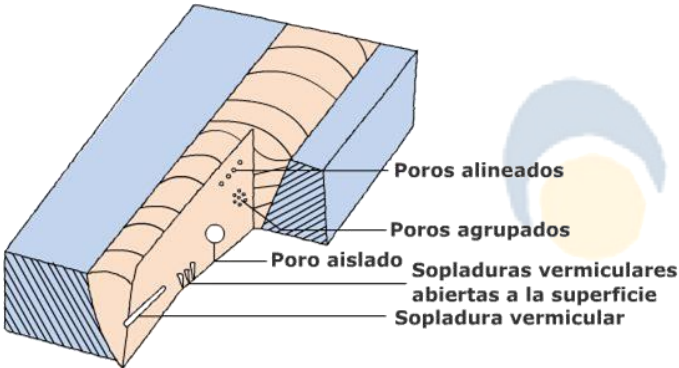
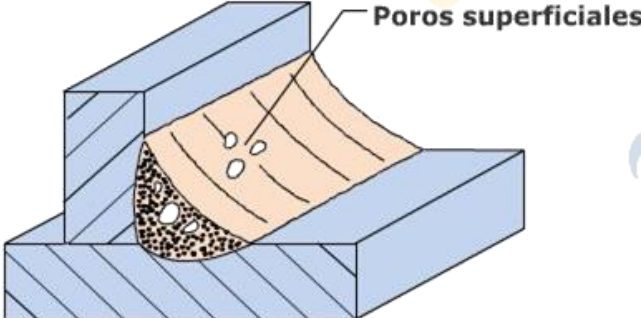
Cavidades	Explicación	Causas
 Poros alineados Poros agrupados Poro aislado Sopladuras vermiculares abiertas a la superficie Sopladura vermicular	Formadas por gas atrapado.	Falta de limpieza en los bordes de la unión, pintura o grasa.
	Localización	Intensidad excesiva.
	Cordón de soldadura	Empleo de alambres macizos oxidados o tubulares oxidados o con humedad.
	Forma	Condiciones atmosféricas desfavorables (Excesivo viento) o corrientes de aire.
 Poros superficiales	Esférica, llamados poros.	Mala técnica operatoria: soldar con el arco demasiado largo o con un ángulo de desplazamiento muy grande.
	Alargados (forma de gusano).	
	Vermiculares	Equipo de soldeo en mal estado: fugas de agua en el soplete, gas de protección con humedad, falta de estanqueidad el circuito de gas, caudalímetro en mal estado
	Aislados.	
	Alineados.	
	Agrupados.	Gas de protección no adecuado, contaminado o con caudal insuficiente.
	Superficiales.	
	Rechupes.	

Tabla 8. Defectos en uniones soldadas. (Continuación)

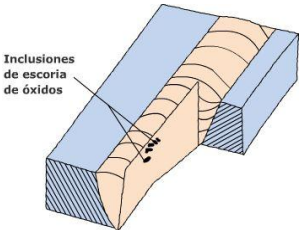
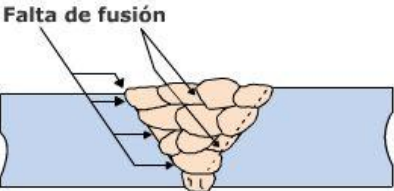
Inclusiones sólidas	Explicación	Localización	Causas
 Inclusiones de escoria de óxidos	Cuerpo sólido: inclusiones de escoria, óxidos metálicos u otro metal.	Alineadas. Aisladas. Otras.	Mala preparación de la unión: poca separación entre chapas o bisel con ángulo pequeño. Falta de limpieza de la escoria, sobre todo al realizar soldaduras de varias pasadas. Protección deficiente del baño de soldadura, que favorece la aparición de óxidos.
Falta de Fusión	Explicación	Causas	
 Falta de fusión	Falta de unión entre el metal base y el metal depositado, o entre dos cordones consecutivos de metal depositado.	Arco demasiado largo. Intensidad baja. Excesiva velocidad de desplazamiento. Defectuosa preparación de bordes, por ejemplo bisel con ángulo muy pequeño, separación muy pequeña entre chapas a unir o una desalineación entre las piezas.	
	Localización	Posición del alambre incorrecto, no centrada respecto a los bordes de la unión.	
	En el metal depositado o entre el metal base y el metal depositado.	Soldar encima de un cordón que tiene un exceso de sobreespesor muy grande. Realizar empalmes defectuosos. Oscilación incorrecta del soplete. Parámetros de soldadura no adecuados, donde hay que incluir la longitud de alambre (stick out), ángulo del soplete, gas de protección, etc.	

Tabla 8. Defectos en uniones soldadas. (Continuación)

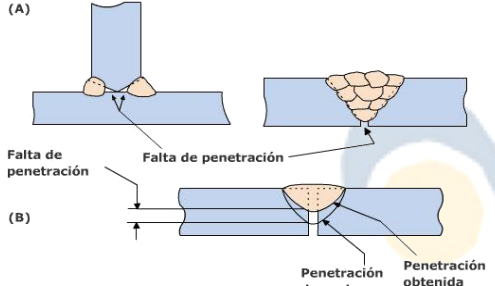
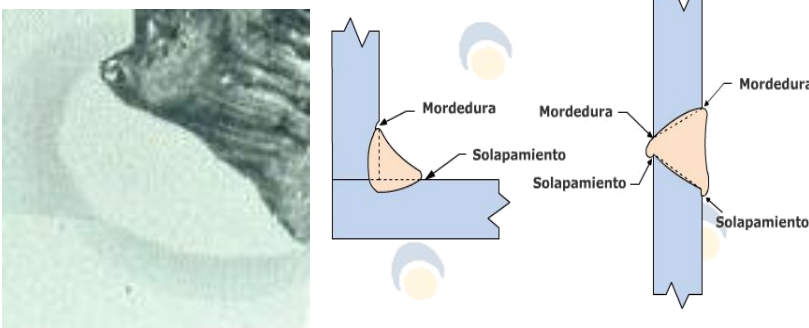
Falta de Penetración	Explicación	Causas
 (A) Falta de penetración (B) Penetración deseada, Penetración obtenida	Es una falta de fusión en la zona de la raíz de la soldadura o cuando en las soldaduras con penetración parcial, se obtienen penetraciones menores que las especificadas (B).	Baja intensidad de soldeo. Excesiva velocidad de soldeo. Separación en la raíz muy pequeña, ángulo del bisel demasiado pequeño o talón de la raíz muy grande. Desalineamiento entre piezas.
Mordedura	Explicación	Causas
 Mordedura Solapamiento	Es una falta de metal, en forma de surco de longitud variable, en cualquiera de los bordes de un cordón de soldadura. Se admiten mordeduras poco profundas normalmente inferiores a 0,5 mm.	Alambre de diámetro demasiado elevado. Voltaje demasiado elevado. Excesiva intensidad de soldeo. Posición incorrecta del soplete. Velocidad de desplazamiento elevado y falta de retención en los extremos.
	Localización	
	Entre la soldadura y el metal base o entre cordones.	

Tabla 8. Defectos en uniones soldadas. (Continuación)

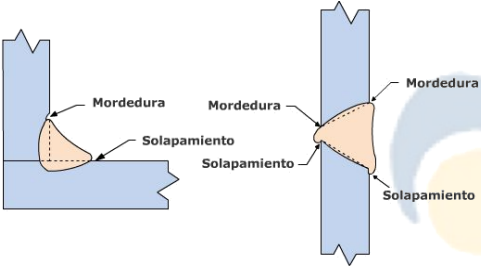
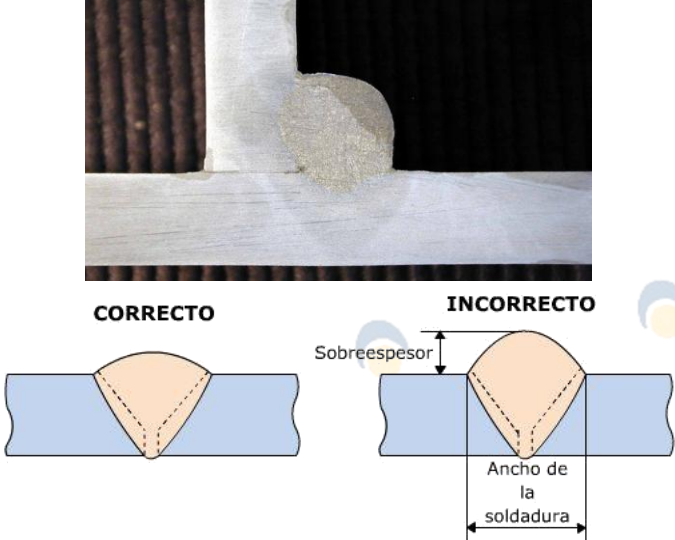
Solapamiento	Explicación	
	Exceso de metal depositado que rebosa sobre la superficie del metal base sin fundirse con él. No se admiten en los niveles de calidad más elevados.	
Sobreespesor Excesivo	Explicación	Causa
	Valor pequeño del ángulo α donde se puede observar que la transición entre el metal de soldadura y el metal base se realiza de una forma muy brusca cuando el ángulo α es pequeño, actuando como una entalla donde se concentrarán los refuerzos cuando la pieza esté en servicio lo que favorecerá la formación de una grieta.	Poca velocidad de soldeo. Poca separación entre las chapas a unir a tope.

Tabla 8. Defectos en uniones soldadas. (Continuación)

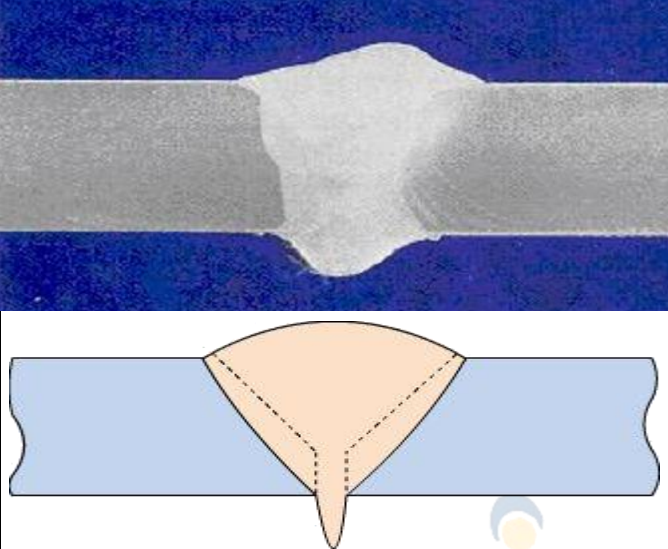
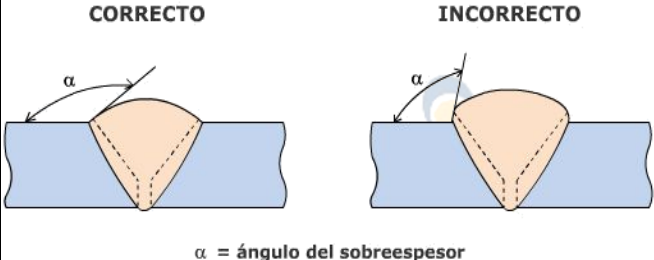
Exceso de Penetración	Explicación	Causas
	Es un exceso de metal depositado en la raíz de una soldadura, normalmente ocurre cuando se suelda por un solo lado. Si el exceso de penetración se presenta en la parte interior de una tubería puede ser muy perjudicial. El exceso de penetración debe ser generalmente de 1 a 2 mm no debiendo superar nunca los 3 mm.	Separación de los bordes excesiva. Intensidad demasiado elevada al depositar el cordón de raíz. Velocidad de soldeo muy baja. Diseño de unión defectuoso con preparación incorrecta del talón.
Ángulo de Espesor Incorrecto	Explicación	
CORRECTO INCORRECTO  α = ángulo del sobreespesor	Valor pequeño del ángulo α donde se puede observar que la transición entre el metal de soldadura y el metal base se realiza de una forma muy brusca cuando el ángulo α es pequeño, actuando como una entalla donde se concentrarán los refuerzos cuando la pieza esté en servicio lo que favorecerá la formación de una grieta.	

Tabla 8. Defectos en uniones soldadas. (Continuación)

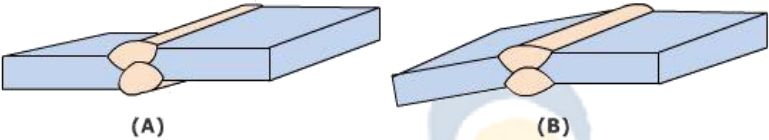
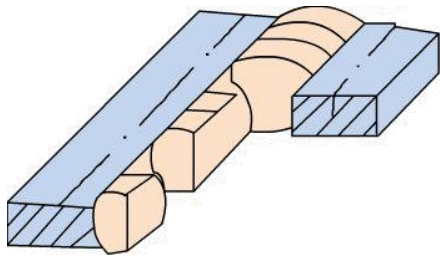
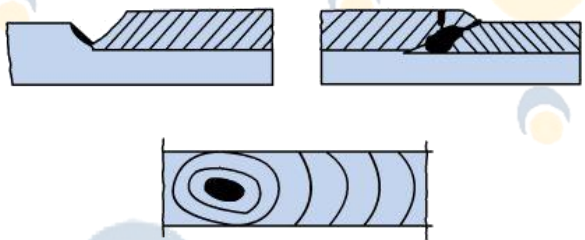
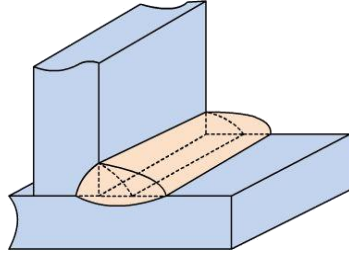
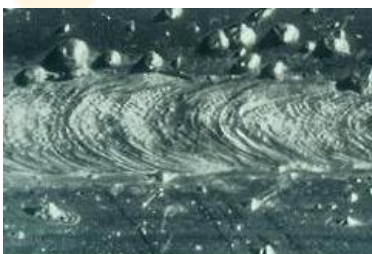
Falta de Alineación o Deformación Angular	Explicación
 (A) (B)	Es una falta de alineación de las dos piezas soldadas que no se encuentran en el mismo plano. Se suele admitir desalineaciones menores de la décima parte del espesor de la chapa.
Falta de Metal de Soldadura	Explicación
 Rechupe en la raíz Desfondamiento Falta de metal de soldadura	Canal longitudinal continuo o discontinuo en la superficie de la soldadura debido a una insuficiente deposición de metal de aportación. Cuando se produce por desplazamiento del metal depositado debido a su propio peso se denomina desfondamiento. Se permiten faltas de material entre 0,5 y 1 mm.
Cebado de Arco	Causas
Alteración local de la superficie del metal base. No se permite. Hay que cebar el arco en la preparación del cordón, en la zona que todavía no ha sido soldada. Un cebado de arco en el metal base puede constituir un conjunto de grietas de pequeño tamaño que crecerán durante el funcionamiento en servicio de la pieza.	Cebado del arco fuera de los bordes de la unión

Tabla 8. Defectos en uniones soldadas. (Continuación)

Perforación	Explicación	Empalme Defectuoso		Explicación
	Hundimiento del baño de fusión que da lugar a un agujero en la soldadura o en un lateral de la misma. No se permiten.			Irregularidad local de la superficie de la soldadura en la zona de empalme de dos cordones. No se permite más que en el nivel de calidad mas bajo.
Exceso de Asimetría en la Soldadura en Ángulo	Explicación	Salpicaduras o Proyecciones		Explicación
	Se produce por realizar las soldaduras disponiendo el metal de aporte de forma asimétrica respecto a las piezas.			Gotas de metal fundido proyectado durante el soldeo que se adhieren sobre el metal base, o sobre el metal de soldadura, ya solidificado. La aceptación depende de las aplicaciones.
Desgarre Local	Marca de Amolado o de Burilado		Amolado Excesivo	Anchura Irregular y Superficie Irregular
Superficie deteriorada al eliminar los elementos auxiliares de montaje. No se permiten	Deterioro local debido al amolado o burilado. No se suele permitir si toca el cordón.		Reducción del espesor debido a un amolado excesivo. No se permite	Soldadura con anchura diferente en distintas partes de la soldadura o con excesiva rugosidad superficial

9.2. Consecuencias de las imperfecciones de las soldaduras

Mala calidad de la estructura soldada y por tanto posible rotura de la misma.

Mayor tiempo invertido (al tener que reparar).

Mayor coste (por la reparación o rechazo y demora en el plazo de entrega).

Cuando las imperfecciones sean superiores a las indicadas por la norma se rechazará la pieza. Si lo permite el código o norma de diseño aplicable se resanará el cordón y se volverá a soldar.

El soldador corregirá (y no tapaná) cualquier imperfección que detecte durante el soldeo empleando los útiles adecuados, o variando los parámetros de soldeo

10. TÉCNICAS ESPECIALES

La soldadura por arco metálico con protección de gas se suele aplicar de forma semiautomática, de forma que la alimentación del electrodo se efectúa a máquina con velocidad constante normalmente, en tanto que el guiado es manual. Sin embargo, este es un proceso fácilmente automatizable en muchos aspectos. De este modo, hay equipos de la soldadura automática por excelencia, como es el arco sumergido, que son convertibles en equipos automáticos de soldadura MIG/MAG, a base de añadir una boquilla para el gas de protección y suprimir el sistema de reparto y recogida del flux, siendo válido todo el sistema de traslación del arco y el de alimentación del electrodo. Algo similar se puede decir de la soldadura por electroescoria, cuyos equipos se pueden aprovechar en ocasiones para convertirlos a la soldadura denominada electrogás, y cuyo funcionamiento podremos ver con algún detalle más adelante.

De todos los procesos de soldadura, éste, junto con la soldadura por resistencia, es el que más ha tenido aplicaciones de robotización, bien aplicada a equipos orbitales computerizados, que hacen soldaduras circunferenciales en tuberías horizontal fija, variando los parámetros en función de la posición por la que pasa el carro que conduce a la pistola de soldadura, o bien aplicada a equipos de robótica industrial con diverso número de grados de libertad de movimiento, que son capaces de hacer las soldaduras más complicadas en secuencias, siendo controlados los movimientos y los parámetros de soldadura por un ordenador que debe ser previamente programado.

Este tipo de equipos, que es evidentemente costoso, tiene aplicación cuando la producción es elevada y además el trabajo es suficientemente repetitivo, para lo cual no basta con el robot de soldadura sino que son necesarios posicionadores que tengan un grado de precisión elevada. Cuando no es posible un alto grado de precisión, que es el caso que se da en la soldadura automatizada de chapa gruesa en la cual no es posible el ajuste a tolerancias estrechas, se suelen emplear sensores para el seguimiento de juntas de soldadura. En todo caso, conviene

aclarar que en chapa gruesa no es frecuente la aplicación de automatización, dado que solo un 7% de instalaciones se dedican a la soldadura de chapa de más de 10 mm.

A continuación estudiaremos la soldadura denominada electrogás, que utiliza un equipo completamente automático. Consiste en un sistema de soporte de un carro que permite simultáneamente el movimiento horizontal y vertical. Se utilizan unas zapatas de cobre refrigeradas por agua, que se usan para formar la cavidad en la que se deposita la soldadura, y están unidas al carro para moverse verticalmente. En el carro va también montado el cabezal de soldadura y los controles. El electrodo se alimenta al interior de la cavidad a través de los rodillos de alimentación, la conducción del electrodo y el tubo de contacto. La cavidad debe estar protegida, rellenándose con el gas adecuado. El electrodo debe tener un movimiento oscilante en la junta para producir una distribución uniforme del calor y del metal depositado. En la *figura 41* vemos un diagrama esquemático de un equipo de soldadura electrogás. El alimentador de electrodo puede introducir dos alambres en paralelo en la cavidad.

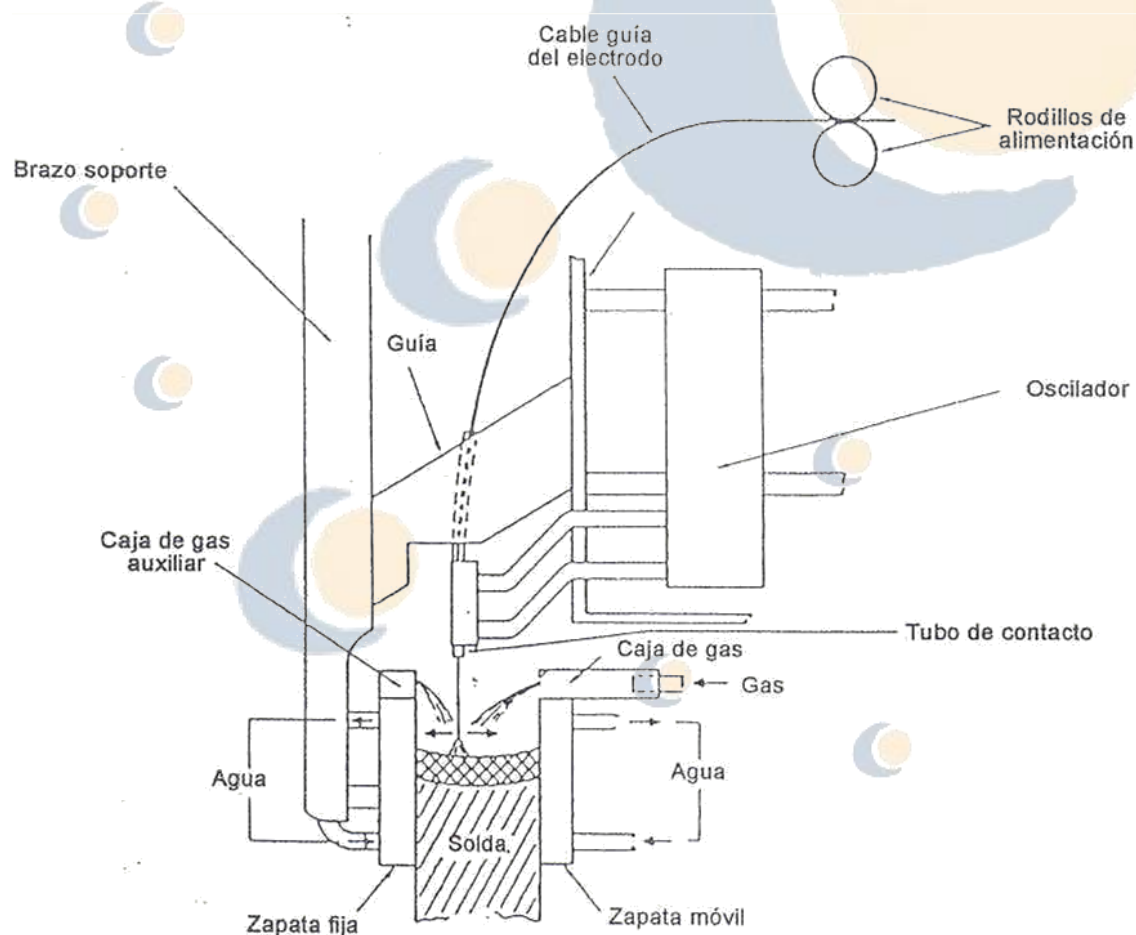


Figura 41. Esquema de equipo para soldadura electrogás

11. RECOMENDACIONES SOBRE UTILIZACIÓN DE GASES

Conocimiento de los gases

Debido a la gran variedad de mezclas que se pueden utilizar como gases de protección en soldadura y corte, es necesario tener en cuenta las propiedades particulares de las mezclas que se utilicen. La seguridad durante la utilización depende del carácter inflamable, comburente o inerte de los gases utilizados. Si no se está familiarizado con las características de alguna mezcla, es preciso obtener información suficiente antes de su utilización. Debe solicitarse la Ficha de Datos de Seguridad.

Usuarios

Las botellas deben ser manejadas sólo por personas experimentadas y previamente informadas.

Responsabilidad

El usuario es responsable del manejo de las botellas y del buen estado y mantenimiento de los accesorios necesarios para su utilización, así como del correcto empleo del gas que contienen.

Antes de poner en servicio cualquier botella deberá eliminarse todo lo que dificulte su identificación y se leerán las etiquetas y marcas existentes.

Identificación

Si el contenido de una botella no está identificado, deberá devolverse a proveedor de gases sin utilizar.

Si existen dudas en cuanto al manejo apropiado de las botellas o de su contenido, deberá consultarse a su proveedor de gas.

Humos

Durante mucho tiempo los criterios de selección de un gas de protección estaban basados en aspectos de calidad y productividad. En la actualidad, aunque los criterios anteriores mantienen su importancia, se presta una especial atención a la cantidad de humos producidos durante su empleo.

En trabajos en atmósferas confinadas y sobre materiales con revestimiento o tratamientos superficiales (desengrasado, decapado, zincado, etc.) es necesario instalar un sistema de extracción de humos, preferentemente de extracción localizada.

Asfixia

La utilización de gases en los procesos de soldadura entraña el riesgo del posible desplazamiento del aire de la atmósfera por los gases de protección de la soldadura o por los resultantes de los procesos de combustión en los sopletes.

Ninguno de ellos es respirable. Si se acumulan en atmósferas confinadas reduciendo la concentración de oxígeno por debajo del 18 % se pueden producir mareos, desmayos y asfixia. Sacar al accidentado al aire libre y hacerle la respiración artificial, si es preciso.

Cuando se trabaje en el interior de un recipiente o en una atmósfera confinada mantener las botellas de gases en el exterior y al terminar el trabajo sacar al exterior el soplete, pistola o pinza de soldar y cerrar las botellas.

Ventilación

Las botellas no se situarán para su uso en lugares confinados ni, en general, en todos aquellos que no dispongan de una ventilación adecuada.

En el recinto de consumo sólo estarán las botellas en uso y las de reserva.

Fugas

Si existe una fuga en la válvula, cerrarla y avisar al proveedor de gases.

Si la fuga no puede contenerse, aplicar las medidas recomendadas por proveedor de gases.

Actuar de igual modo con botellas afectadas por el fuego, la corrosión o que presenten cualquier otro defecto.

No emplear nunca llama para detectar fugas.

Incendios

La utilización de oxígeno en trabajos de soldadura puede generar sobreoxigenación en zonas confinadas, con el consiguiente riesgo de incendio que aumenta a medida que sube la concentración. Materiales que son combustibles en el aire, arden con mayor rapidez. Productos que no son combustibles en el aire se inflaman en presencia de oxígeno (las grasas y aceites pueden arder violentamente). La energía de activación necesaria para iniciar la combustión disminuye a medida que aumenta la concentración de oxígeno. Antes de entrar en una zona sobreoxigenada ventear la atmósfera e impedir que se puedan producir puntos de ignición.

Si se utilizan máquinas eléctricas, mantenerlas permanentemente conectadas a tierra. Al terminar el trabajo parar las máquinas y desconectar de la red.

Sujeción

Antes de usar las botellas asegurarse de que están bien sujetas para evitar su caída.

Los protectores (caperuzas, etc.) móviles de las válvulas deben estar acoplados en las botellas hasta el momento de su utilización.

Cierre

Las válvulas deben estar siempre cerradas, excepto cuando se emplee el gas, en cuyo momento deberán estar completamente abiertas. Las botellas vacías se mantendrán con las válvulas cerradas hasta su entrega a su proveedor de gases...

Contaminación

Debe notificarse a su proveedor de gases cualquier posible introducción de sustancias extrañas en la botella o en la válvula.

Si existe peligro de que la botella pueda contaminarse por retroceso de otros gases o líquido, debe utilizarse una válvula o dispositivo de retención adecuado.

Mantenimiento

El usuario debe establecer un plan de mantenimiento preventivo de las instalaciones y de todos los accesorios necesarios para la correcta utilización de gases.

Equipos

Los equipos, canalizaciones, reguladores, válvulas antirretorno, mangueras, sopletes, etc. deben ser adecuados a la presión y gas a utilizar.

Asegurarse de que los acoplamientos de las conexiones de los reguladores con las válvulas de las botellas son coincidentes. No forzar nunca las conexiones que no ajusten bien, ni utilizar piezas intermedias.

Regulación

Utilizar siempre los gases contenidos en las botellas a través de un medio adecuado de regulación de presión. Los reguladores, caudalímetros, mangueras, etc. destinados a usarse con un gas o un grupo de gases no deben ser empleados en otros gases.

Conexión y desconexión

Después de conectar el regulador y antes de abrir la válvula de la botella, comprobar que el tornillo de regulación del regulador está completamente aflojado. Antes de desconectar el equipo de regulación de las botellas cerrar su válvula y eliminar la presión del dispositivo de regulación.

Estas precauciones deben, así mismo, tenerse en cuenta en las interrupciones del trabajo y en el cambio de botella.

Apertura

Las válvulas de las botellas se abrirán siempre lentamente. El operario se debe situar en el lado de la botella opuesto a la salida de la válvula; esta nunca estará en dirección hacia otras personas.

Abrir las válvulas con la mano. No emplear herramientas sobre las válvulas equipadas con volante manual.

Si las válvulas presentan dificultades para su apertura o cierre, o están agarrotadas, pedir instrucciones a proveedor de gases

Evitar salida de caudales de las botellas superiores a los prescritos por proveedor de gases.

Cuidado de botellas

No usar nunca las botellas para funciones diferentes a la de almacenar gases (rodillo, soporte, contrapeso, etc.).

No soldar nunca alguna pieza a las botellas. Puede haber peligro de explosión.

No introducirlas en recipientes, hornos, calderas, etc.

No someterlas a bajas temperaturas.

Mantenerlas alejadas de fuentes de calor.

No ponerlas en contacto con circuitos eléctricos (no cebar el arco en ellas, no acercar a su superficie el portaelectrodos ni la pinza de masa del equipo de soldadura).

No colgar de ellas el soplete de soldadura o corte.

No calentar la botella con el soplete.

No quitar ni cambiar las etiquetas de identificación del contenido. El repintado de botellas sólo debe hacerlo proveedor de gases.

No desmontar las válvulas.

Precauciones

Está prohibido fumar durante la manipulación de gases inflamables y comburentes.

Está prohibido trasvasar gases de una botella a otra.

Se recomienda el uso de calzado de seguridad y guantes adecuados, en la manipulación de botellas.

En el manejo de gases tóxicos o corrosivos deben utilizarse máscaras con filtro adecuado o aparatos de respiración autónomos.

Los equipos deben situarse fuera de la zona de contaminación, en lugar próximo y accesible.

12. EQUIPO DE PROTECCIÓN

Es esencial el uso de ropa resistente al calor y equipo especial de protección. Hay que usar cascos de soldadura o caretas que cubran toda la cara. Debe estar cubierta toda la superficie de la piel expuesta a la radiación del arco con ropa resistente al calor para que no se dañe con las proyecciones e inevitables salpicaduras. Hay que usar guantes de cuero y la pieza superior del vestido debe ser de cuello cerrado y mangas largas.

La protección para los ojos debe ser algo más intensa que la empleada en la soldadura con electrodo revestido ya que el arco es más brillante, y la radiación ultravioleta más intensa, especialmente cuando se usa argón o helio como gas de protección, por lo que los filtros deben ser algo más oscuros. Se emplean cristales del Nº 6 para corrientes de 30 amperios hasta del Nº 14 para cuando la corriente es mayor de 400 amperios. Tampoco conviene usar cristales más oscuros de lo necesario.

Hay que situar convenientemente pantallas no reflectantes para proteger a los trabajadores no directamente involucrados en la soldadura y que compartan el área de trabajo.

13. CÁLCULO DE COSTOS

La estimación de costes que se presenta a continuación es útil para comparar de una manera rápida, la soldadura actual que se está realizando frente a cualquier iniciativa de mejora. En este estudio, solo se tienen en cuenta las tres variables:

Coste del gas de protección. Es normalmente del orden del 5 al 10% de los costes totales de soldadura, dependiendo de la velocidad de deposición de la aplicación.

Coste de la mano de obra. Hay que incluir los gastos generales y son del orden del 70-80 % en la soldadura manual. En la soldadura con robot, el coste de la mano de obra es sensiblemente inferior, del orden del 25 % y entonces debe tenerse en cuenta los costes de amortización de la celda de soldadura.

Coste del consumible. Oscila entre un 10-20 %

- En la *tabla 9* puede observarse un ejemplo de comparación costes entre una mezcla de CO₂ y Ar- CO₂, teniendo en cuenta únicamente. Normalmente en esta comparación aparecen los siguientes puntos:
- El coste de la mezcla Ar-CO₂ es superior al del CO₂, pero todavía se mantiene dentro de un porcentaje pequeño del costo total de soldadura.
- La eficiencia de deposición (del 95 a 98 % debido a la reducción de salpicaduras y humos), el coste total por metro de soldadura es menor.

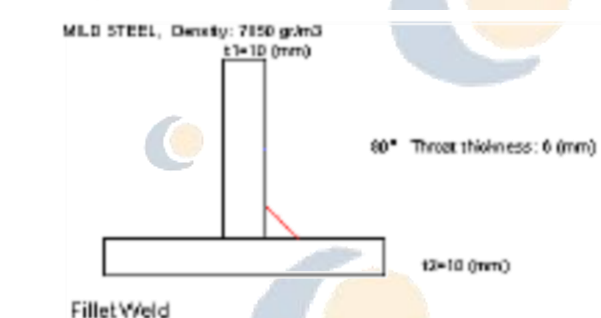
- Como consecuencia del empleo de una mezcla de argón frente al CO_2 , se incrementa el ciclo de trabajo (del 40 al 45 % debido al menor tiempo necesario para limpieza después de soldar o mantenimiento del equipo).
- La velocidad de soldadura se puede incrementar del orden de 15%. Esto es debido que con el gas CO_2 no se puede soldar a los niveles de intensidad y voltaje que con la mezcla Ar-8 % CO_2 por tener muchas proyecciones.
- La cantidad de alambre por metro puede reducirse ya que el tipo de cordón con CO_2 suele ser cóncavo, con exceso de sobrecordón. Con las mezclas Ar- CO_2 , el tipo de cordón tiende a ser plano y sin sobrecordón.

El resultado es que un pequeño incremento en el coste del gas de protección, que es un porcentaje bajo del coste total, permite mejorar la eficiencia de deposición del alambre, incrementar el ciclo de trabajo y la velocidad de soldadura y por tanto disminuir el coste de la mano de obra, que es un porcentaje elevado del coste total. El resultado final, puede ser una reducción significativa del coste total.

Tabla 9. Comparación de costos utilizando CO_2 mezcla de Ar-8 % CO_2

CÁLCULO DE COSTES DE PROCESOS DE SOLDADURA

Geometría de la unión



Datos de la unión

Garganta: 6,0 mm

Sobreespesor: 1,0 mm

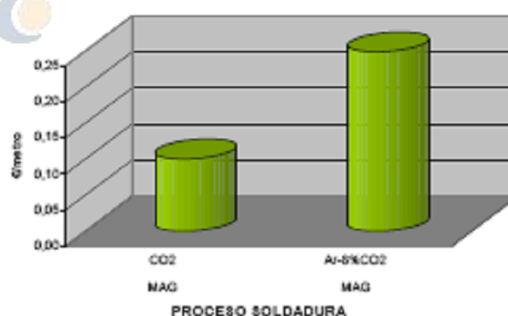
Croquis

Área cordón: 44,04 mm²

Metal Base: Acero al carbono

GAS DE PROTECCION		CO_2	Ar-8% CO_2
FORMA DE SUMINISTRO			
a.- PRECIO DEL GAS (€/m³)		2	5,5
b.- CAUDAL DE GAS (l/min.)		14	14
c.- VELOCIDAD DE SOLDADURA (cm/min.)		28	31
PARAMETROS MIG/MAG	PARAMETROS TIG		
COSTO TOTAL GAS DE PROTECCION (€/m)		0,10	0,25
% SOBRE TOTAL		1,70	5,04
a (€/m³) x b (l/min.)			
c (cm/min) x 10			

COSTO GAS DE PROTECCION (€/m)



MANO DE OBRA

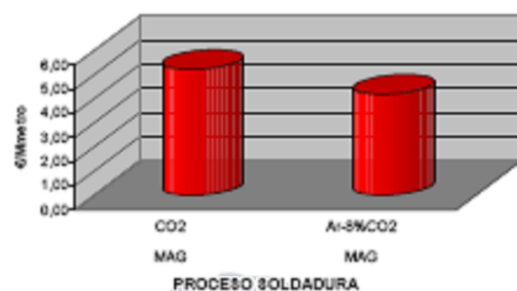
a.- MANO DE OBRA + GASTOS GENERALES (€/h)	i	35	35
b.- TIEMPO DE ARCO (%)	TIEMPO DE ARCO	0,4	0,45
c.- VELOCIDAD DE SOLDADURA (cm/min.)		28	31

COSTO TOTAL MANO DE OBRA (€/m)		5,21	4,18
% SOBRE TOTAL		88,46	84,83

a (€/h) x 100

b (%) x c (cm/min.) x 60

COSTO SOLDADOR (€/m)



CONSUMIBLES

a.- PRECIO DE LOS CONSUMIBLES (€/Kg)	7	1	1,4	1,4
b.- EFICIENCIA DE DEPOSICION (%)	8	9	0,92	0,97
c.- METAL SOLDADO (Kg/m)	10	11	0,38	0,35

COSTO TOTAL DE CONSUMIBLES (€/m)		0,58	0,50
% SOBRE TOTAL		9,84	10,13

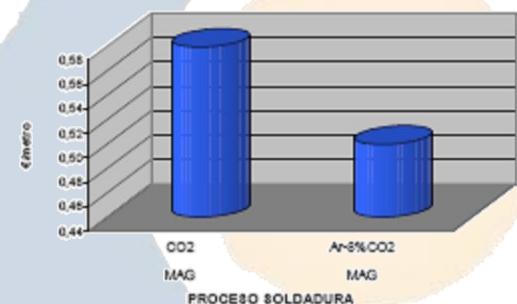
c (Kg/m) x a (€/Kg)

b (%)

COSTO TOTAL (€/m)

		5,89	4,93
--	--	------	------

COSTO CONSUMIBLE (€/m)



	PROCESO1	PROCESO2
GAS DE PROTECCION (€/m)	CO2	Ar-8%CO2
MANO DE OBRA (€/m)	0,10	0,25
CONSUMIBLES (€/m)	5,21	4,18
COSTO TOTAL (€/m)	5,89	4,93

COSTO TOTAL (€/m)

